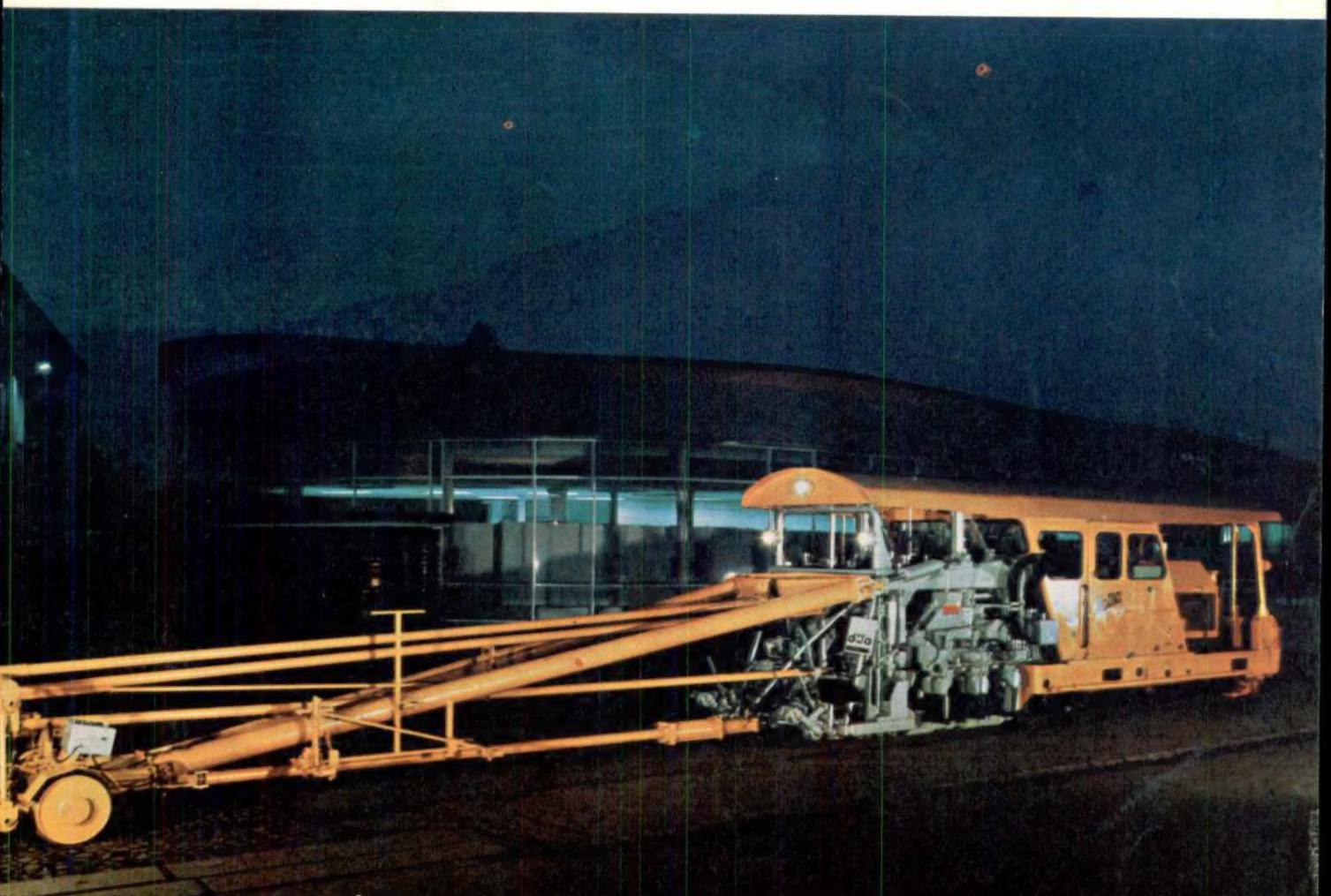
técnica



013

associação dos estudantes do instituto superior técnico

dezembro 1971

revista de engenharia

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

MEXIA HEITOR E BRASÃO FARINHA

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

TÉCNICA
revista da associação dos estudantes do Instituto Superior Técnico
LISBOA

TUBOS DE BETÃO

NÃO ARMADOS
DE FABRICO INTEIRAMENTE AUTOMÁTICO
STOCK PERMANENTE

LISBOA-5: Av. Est. Unidos da América, 100-5.º Dto.-Tel. 714116/17
LEIRIA: Ponte das Mestras - Tel. 2 37 68
LAGOA: Estrada do Carmo - Tel. 5 21 94
GUARDA: Arrifana - Tel. 817

CIMENTO SECIL

Fábrica:
Outão — Setúbal
Telef. 228824/5

Escritório:
R. do Comércio, 56-3.º
LISBOA 2
Telef. 328201/2/3

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

técnica

NÚMERO 413 DEZEMBRO DE 1971 ANO XLVI VOLUME XXXIV PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
Guilherme Silva Arroz

ADMINISTRADOR
José Toscano

CHEFE DE REDACÇÃO
Francisco Pedroso

SECRETÁRIO
José Sá da Costa

REDACTORES
António Mouraz Miranda, António Vieira Pita, José de Oliveira Paulo, José Xambre Bento, Maria Teresa Lemos, Rogério Pinto

CONSELHO REDACTORIAL
A. Ferreira dos Santos, A. Romão Dias, Aquiles Gomes, Carlos Rosmaninho, Domingos Moura, F. Sousa Marques, H. Nunes Garcia, J. Borges da Silva, J. P. Figanier, L. Aires-Barros, L. Borges Teixeira

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 73 15 49

PROPRIETÁRIO E EDITOR
A. E. I. S. T.

★

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e Ilhas	95$00	180$.
Ultramar, Brasil Espanha	100$00	190$.
Estrangeiro	—	200$.
Número avulso ...	—	25$.

Não se publica em Agosto e Setembro

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

★

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO NA
MOVIGRÁFICA
R. do Espírito Santo, 19-A Odivelas

SUMÁRIO

117 — FERRY BORGES — *Dynamic loads (in particular wind and earthquake loads).*
Solicitações dinâmicas (em particular causadas por ventos e sismos).

131 — DUARTE RAMOS — *Significado do campo eléctrico no arvorejamento de polímeros devido a uma heterogeneidade elíptica e hiperbólica.*
The importance of electrical field distribuition by treenig of polymers with an ellipsoidal hyperbolical electrode.

143 — PERES RODRIGUES — *Anisotropia das rochas-superfícies mais prováveis das tensões de rotura e dos módulos de elasticidade.*
Anisotropy of Rocks. More probable surfaces of ultimate stresses and moduli of elasticity.

153 — M. BARROSO — *Caldas de injecção à base de cimento.*
Injection mixtures based on cement.

165 — SALGADO PRATA — *Perspectivas da evolução dos critérios de aceitação dos defeitos de compacidade em soldaduras.*
Evolution perpectives of criteria of acceptance of compacity lacks in welder joints.

169 — VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA.
Valadares Tavares e alunos. — Uma experiência no ensino.

173 — BIBLIOGRAFIA.

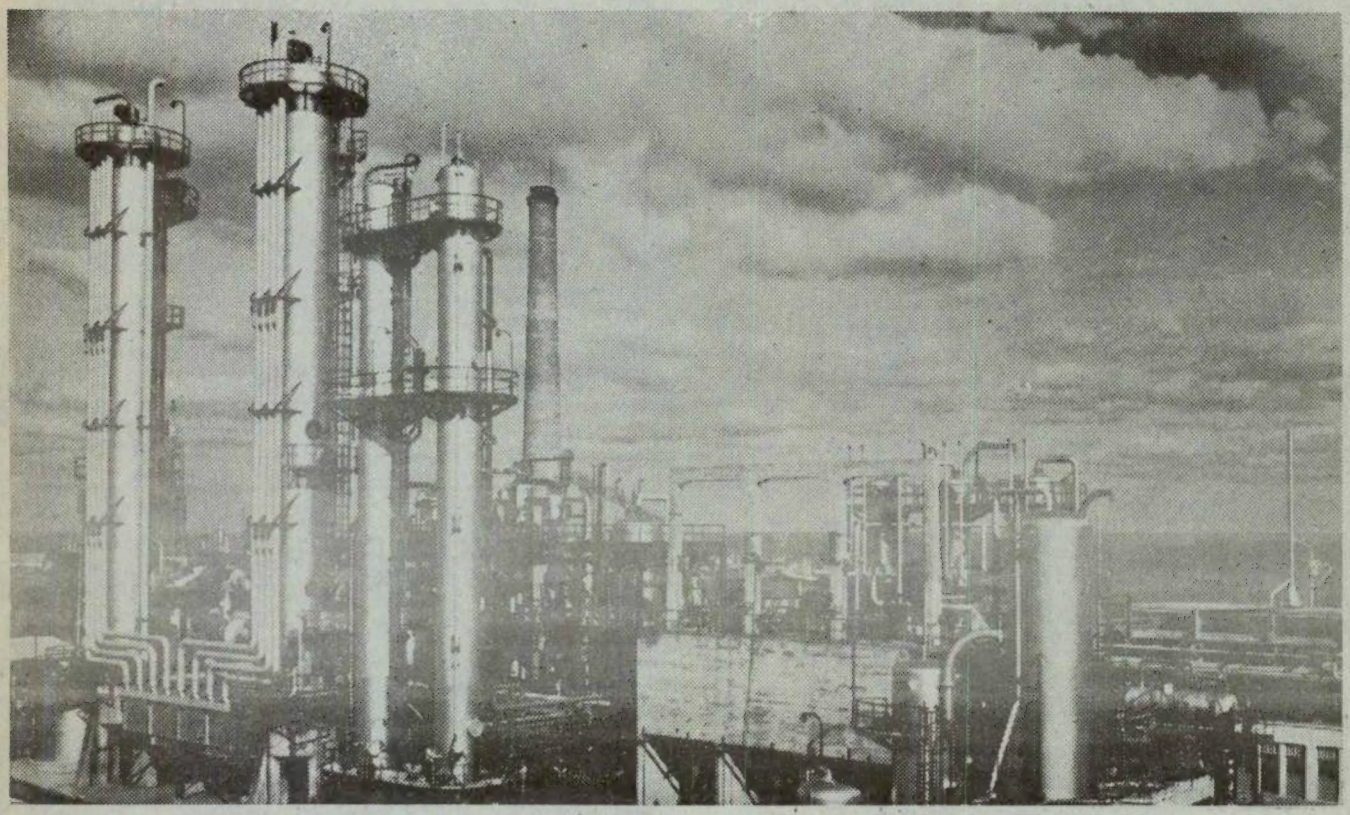
CAPA — B. N. R. I. — 80. Uma das máquinas utilizadas pela CP na renovação da via.
A B. N. R. I. — 80 executa simultaneamente o ataque, o nivelamento e o alinhamento da via.

INDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
Aguiar & Melo, Lda.	XXVI
Argilex	XXV
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XIX
EFACEC	XII
Eficex Kienzle	IV
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	X
Empresa Electro Cerâmica	XIV
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	IV e VIII
Harker Sumner	XXIV
Heliaço	2.ª da capa
ISOLA	XX
Johann Keller	VI
J. F. Azevedo e Silva	VII
J. Roma	XX
Jomatel	XIV
Livros Técnicos	V
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida	XXI
Monteiro Gomes	XXV
Novobra, Lda.	2.ª da capa
Quinzena Técnica	II
Rotring	XXV
Salvador Caetano	XXIII
Spesa	
Siemens	4.ª da capa
Sociedade Portuguesa Cavan	XX
S. K. F. Lda.	XXII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	V
Sondagens Ródio, Lda.	VI
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
Valadas, Lda.	XV
Wild Portugal, Lda.	III

espiral

na base da construção moderna: estacas FRANKI, moldadas no solo.

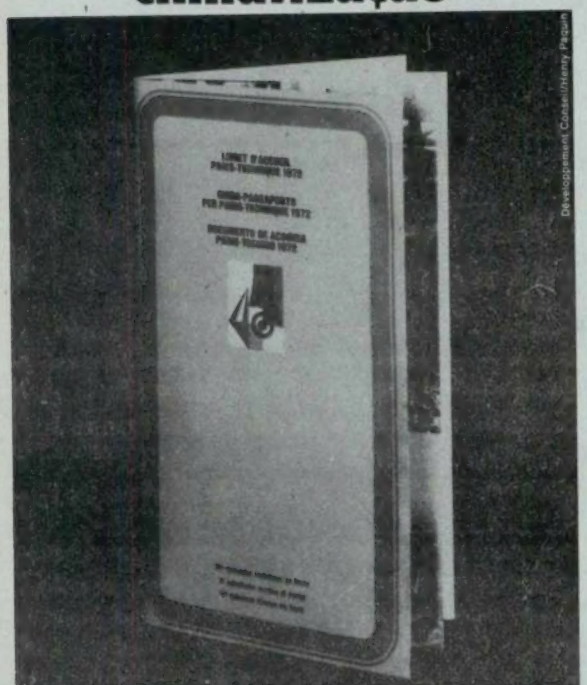


A elevada gama de diâmetros das estacas Franki permite a melhor adaptação a cada problema concreto de fundações, desde a construção mais ligeira até à de grande concentração de cargas muito elevadas. Material permanentemente actualizado e pessoal com especialização constantemente aprofundada garantem a segurança, rapidez e economia das fundações executadas.

FRANKI

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL

material de trabalhos públicos equipamento eléctrico climatização



especialistas e compradores este guia é-vos destinado

A Quinzena Técnica de Paris que agrupa : **EXPOMAT** (25 de Maio - 4 de Junho de 1972) oitavo salão internacional de materiais de Trabalhos Públicos e de construção - 971 expositores de 18 nações. **BIENAL DO EQUIPAMENTO ELECTRICO E DA AUTOMATIZAÇAO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS** (31 de Maio - 8 de Junho de 1972) 494 expositores de 18 nações. **INTERCLIMA** (2 - 8 de Junho de 1972) : aquecimento, refrigeração e climatização - 450 expositores de 20 nações. ... acaba de publicar para vós um Guia da exposição. Com informações pormenorizadas sobre os salões, inclui um cartão para um programa de visitas às obras de "Paris - 1975": Bairro Défense, Aéroporto de Roissy em França, Periféricos, torre Maine-Montparnasse... pontos de observação previlegiados para os técnicos do mundo inteiro.

Quinzena Técnica de Paris

25 DE MAIO
8 DE JUNHO DE 1972

M .....

EMPRESA .....

MORADA .....

deseja receber grátis o guia da exposição "Quinzena Técnica de Paris" destinada aos técnicos portugueses. CHAMBRE DE COMMERCE FRANÇAISE DU PORTUGAL, Av. Defensores de Chaves 41, 6º Dto LISBOA. 4-97-48

---

fundações sondagens

Sopecate

especialista há ‡1/4‡ de século

rua do arsenal 146-2º tlf 34010 · Lisboa

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

✱

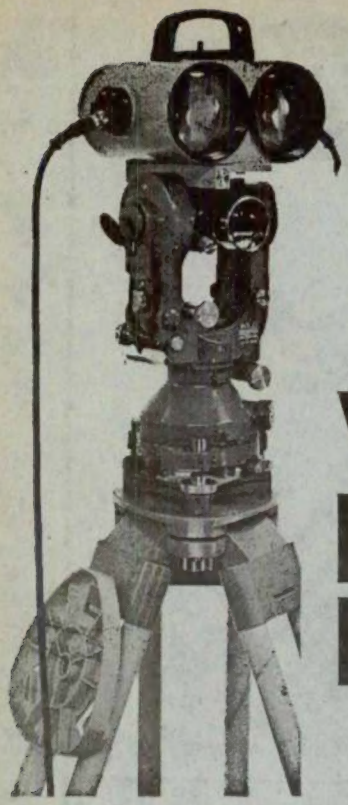
MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73



Agora

para distâncias

até 2000 m

WILD DISTOMAT DI 10

O mais recente modelo do único aparelho de medição de distâncias, por infra-vermelhos, em serviço desde 3 anos, permite alcance até 2000 m e é adaptável aos teodolitos WILD 11A, T16 e T2.

Esta combinação é a ideal para poligonações, levantamentos por radiação e para implantações.

Economiza tempo, trabalho, dinheiro
Aumenta precisão, rendimento, lucro
Aprovado desde 3 anos em toda a parte do mundo
Garantido pelos nossos serviços técnicos

WILD
HEERBRUGG

Solicitem prospecto detalhado ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8 * TEL. 68 91 12 * LISBOA-2

ESCAVADORAS HIDRÁULICAS
S/RODAS — S/LAGARTAS

yumbo

— ENTREGAS IMEDIATAS

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO
GUEDES & ALMEIDA, LDA.
RUA ÁUREA, 181 - 2.° — TELEFONES 32 50 11 - 32 78 45 — LISBOA

CALCULAR...

...instantâneamente, silenciosamente, com economia e segurança.

...programa de calculadores electrónicos de CASIO COMPUTER, Co. LTD TÓKYO-JAPÃO

...diversos modelos com as mais evoluídas características para toda a espécie de cálculos.

Demonstrações sem compromisso

-12 Modelos diferentes.
- 1 Programável.

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:
EFICEX KIENZLE LISBOA: Av. João XXI, 4A-tels 727028-727019
DISTRIBUIDORES NO NORTE:
HORBE, LDA PORTO: Rua Faria Guimarães, 105 - tel. 4 33 46

Dimensionamento de Secções de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples de secções rectangulares simplesmente armadas
— Flexão simples de secções rectangulares duplamente armadas
a) com armadura de compressão reduzida
b) com armadura de tracção reduzida
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Flexão simples de secções T duplamente armadas
— Compressão simples
— Flexão composta de secções rectangulares
a) com armadura simétrica
b) com armadura de tracção reduzida
c) com armadura de compressão reduzida
— Flexão composta desviada de secções rectangulares
— Flexão composta de secções em T
a) com armadura de tracção reduzida
b) comarmadura de compressão reduzida
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas
— Esforço transverso

Preço 150$00

Dimensionamento de Secções Circulares de Betão Armado em Relação à Rotura

Matérias

— Flexão simples e flexão composta de secções circulares cheias
— Flexão simples e flexão composta de secções circulares ocas

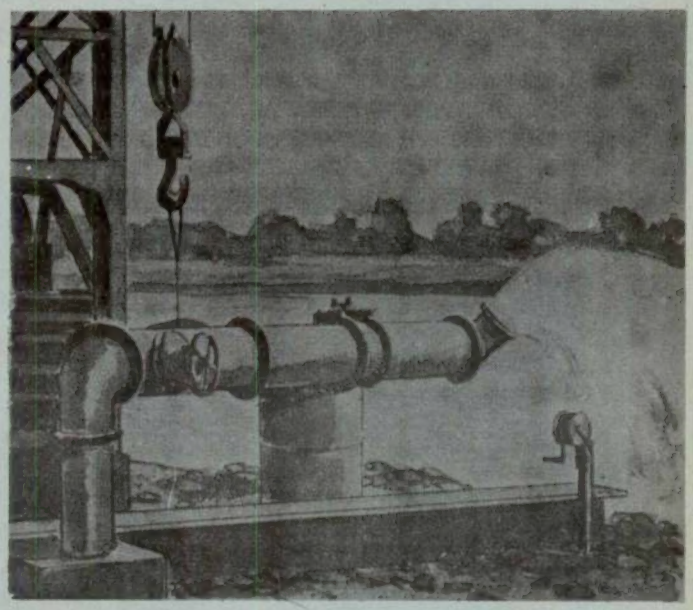
Preço 60$00

Por J. M. MADEIRA COSTA

ENG.º CIVIL

À venda na TÉCNICA e nas LIVRARIAS

Água: eis o que lhe oferecemos!



- Pesquisas e captações de água
- Estudos hidrogeológicos
- Sondagens e Fundações
- Rebaixamento de níveis aquíferos

ACAVACO

R. Rodrigo da Fonseca, 62, r/c-Esq. - Lisboa-1
Tel. 56 11 71/2/3/4

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa

No Norte: **SCIAL** — R. António Feliciano de Castilho, 1126 — Telef. 97 09 32 — Areosa — Porto

SONDAGENS RODIO, LD.

R. S. Bento, 644 - 3.º
LISBOA

TELEFONE: 68 80 96

PORTO
LUANDA
BEIRA

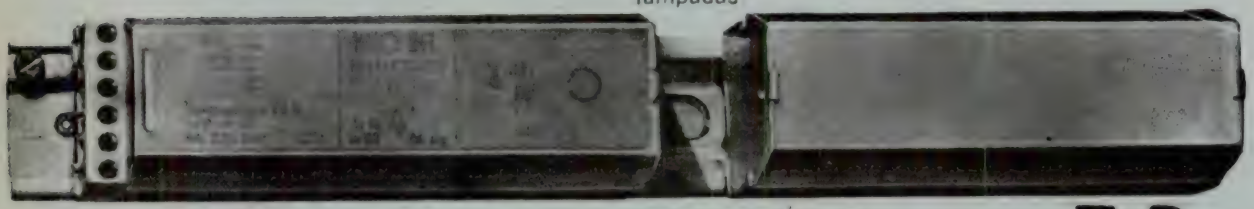
SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

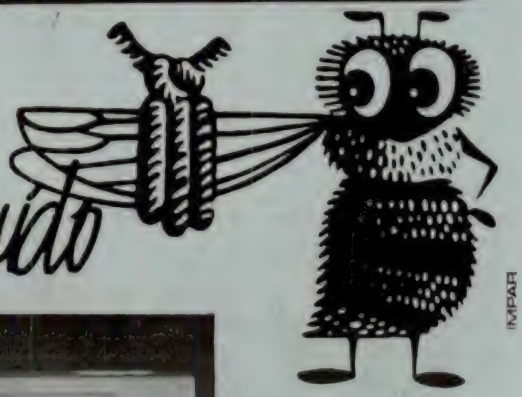
PROLONGUE A VIDA DAS SUAS LÂMPADAS FLUORESCENTES com

balastros PERFEKTSTART KNOBEL

SEM ARRANCADOR

Arranque controlado pelo sistema termo-eléctrico PERFEKTSTART o qual incorpora um relais térmico que proporciona o pré-aquecimento dos cátodos das lâmpadas





totalmente isento de ruído

Balastro PERFEKSTART, em corte mostrando o relais térmico do dispositivo de arranque

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Disponiveis nas potências de 20, 30, 40 e 65 W
- Garantidos por 5 anos contra defeitos de fabrico
- Ausência de intermitências ou repetidas tentativas infrutiferas durante o arranque
- Ausência de problemas com arrancadores. Torna-se desnecessária a sua substituição
- Duração da vida da lâmpada pelo menos duplicada. É possivel contabilizar exactamente a economia que se obtem com o seu funcionamento e manutenção
- Funcionamento práticamente silencioso graças a novas tecnicas de fabrico incorporadas no núcleo magnético
- Livre escolha do tipo de lâmpada que mais convier, para arranque normal ou rápido
- Ausência de indicações especiais para a montagem ou de dispositivos auxiliares para melhorar o arranque
- Lâmpadas fluorescentes de boa qualidade deixam de enegrecer nas extremidades
- Ausência de interferências nos receptores de rádio ou televisão
- Ausência de percas de corrente — baixo aquecimento
- Marca de qualidade da ASE para utilização em locais secos ou húmidos

JF

J.F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª L.DA

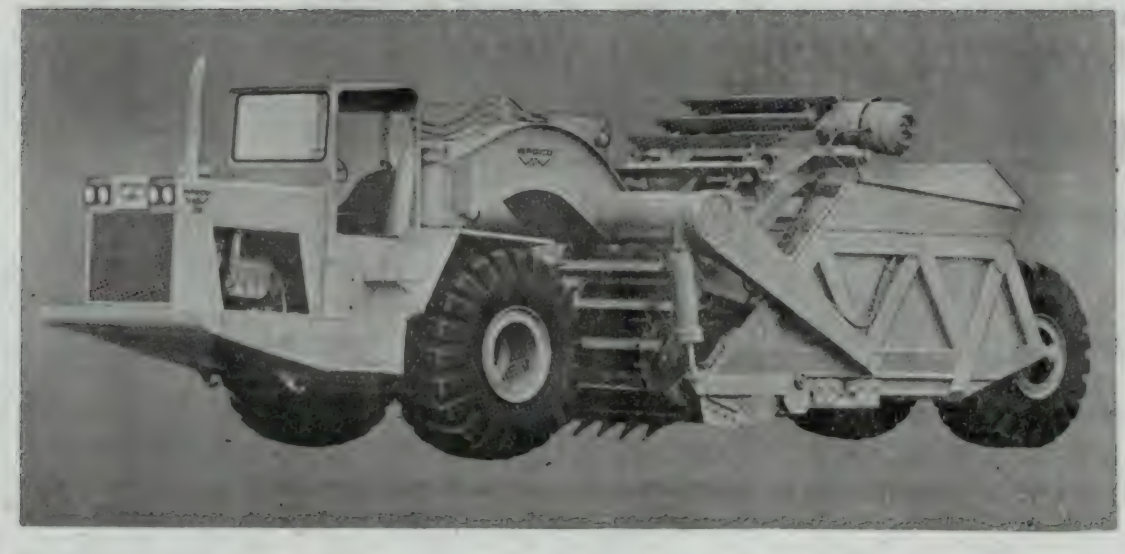
Trv. Fábrica das Sedas, 22-A * Tel. 65 3711-654165 * LISBOA

WABCO
An American-Standard Company

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADES ATÉ 34 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

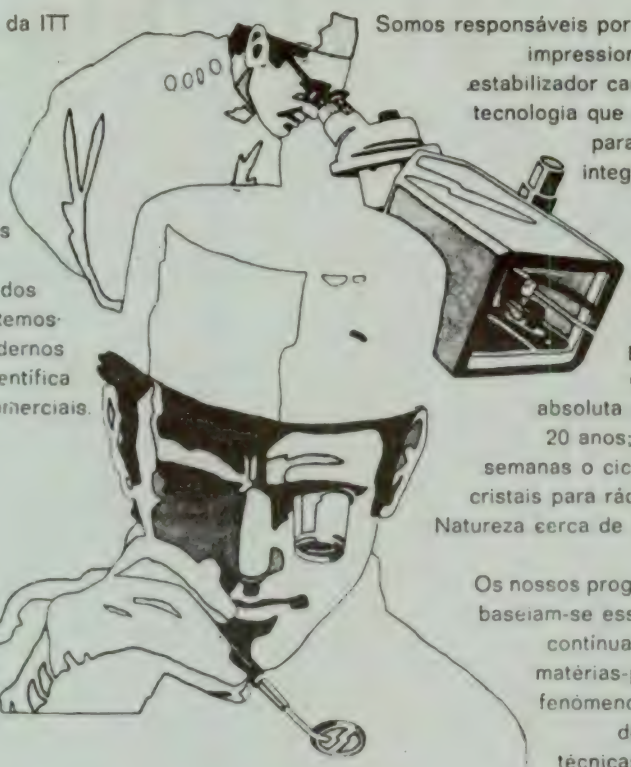
GUEDAL - Guedes & Almeida, Lda.

R. ÁUREA, 181-2.° • LISBOA-2 • TEL. 32 50 80

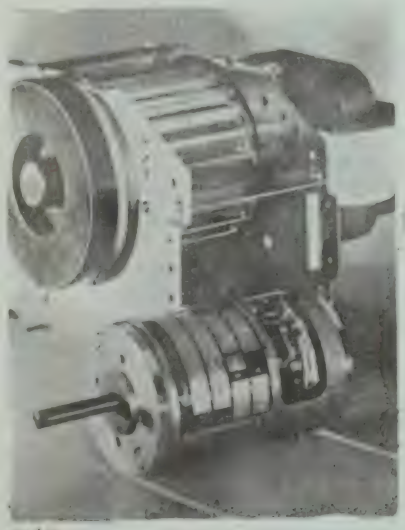
R. ALFREDO CUNHA, 538 • MATOSINHOS • TEL. 93 45 62

A maior rede de especialistas na Europa antecipa-se aos seus problemas

O Grupo de Componentes da ITT Europa tem uma ambição: Não permitir a interrupção da actividade dos seus clientes por falta de componentes.
Conhecendo em todo o pormenor as características dos mercados podemos antecipar-nos à resolução dos seus problemas. Por isso temos na Europa Ocidental 4 modernos centros de investigação científica que apoiam as divisões comerciais.



Somos responsáveis por alguns resultados impressionantes: O primeiro estabilizador cardíaco baseado na tecnologia que a ITT desenvolveu para os seus circuitos integrados; a produção de amplificadores para cabos submarinos que, submersos a grandes profundidades, têm que funcionar com absoluta segurança durante 20 anos; reduzimos para 3 semanas o ciclo de produção de cristais para rádio o que levaria à Natureza cerca de 3 milhões de anos a conseguir.
Os nossos programas de pesquisa baseiam-se essencialmente numa contínua procura de novas matérias-primas e de novos fenómenos físicos, base do desenvolvimento de técnicas e processos que levam ao aparecimento de novos componentes



Exemplos de componentes ITT

São estes motores e ventiladores largamente usados em aplicações tais como: máquinas de executivo, gravadores de fita magnética, aparelhagem doméstica, projectores, aquecedores de água, sistemas de ventilação e refrigeração, etc
A gama de motores ITT está prevista para operação unifásica ou trifásica com potências nominais de 0,7 a 78 W. As potências dos motores de corrente contínua vão desde 0,25 a 25 W. Existem ainda modelos acoplados a redutores de velocidade.

Para informações completas dirija-se a:
STANDARD ELÉCTRICA, S. A. R. L.
Divisão ITT de Vendas de Componentes
Av. da República, 60, 2.°-D.
Lisboa 1
Telef. 76 54 91

COMPONENTES **ITT**

71/D

EMPRESA DE CIMENTOS DE LEIRIA

S. A. R. L.

CIMENTO SUPER-VULCANO

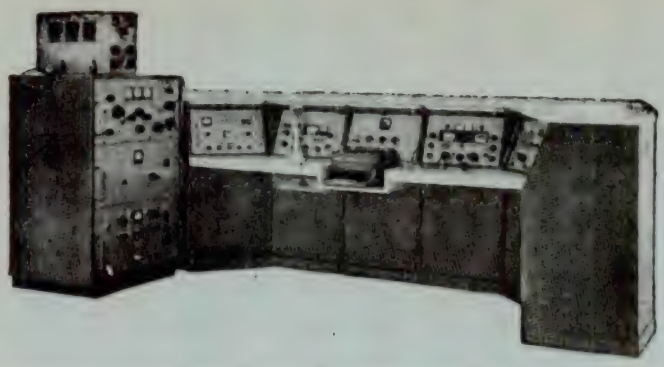
CALCINA

CAL HIDRAULICA

SÍMBOLO DE QUALIDADE

Sede: Rua Braamcamp, 7 — LISBOA

Fábrica: Maceira — Liz



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

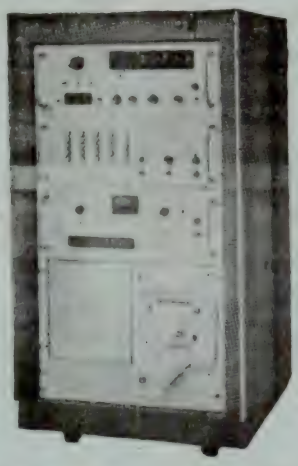
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

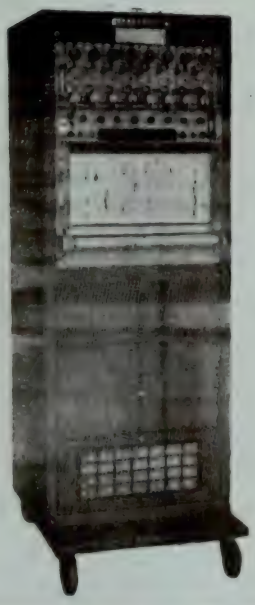
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciioscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

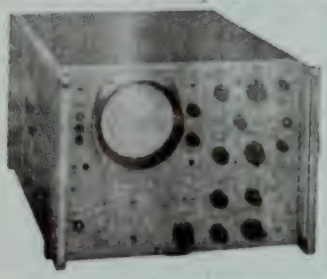
Registador digital Dymec



Registador Sanborn



Osciloscópio HP



Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

Motores eléctricos

EFACEC

para todos os fins industriais

Potências até 3000 CV

EFACEC, a maior organização do país no ramo electrotécnico

técnica

NÚMERO 413 DEZEMBRO DE 1971 ANO XLVI VOLUME XXXIV PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 624.042.8

DYNAMIC LOADS (IN PARTICULAR WIND AND EARTHQUAKE LOADS) *

J. FERRY BORGES **
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

SUMMARY

Present information on dynamic loads, such as those due to wind, earthquake, traffic, machinery and blast, in briefly reviewed.

Attention is focused on the first two of the mentioned loads. The main problems considered are: i) measurement of acting loads, and ii) their analytical and experimental idealization.

The general lines along which research is to be continued are suggested as a basis for discussion.

RESUMO

Acrescenta-se uma síntese da informação actualmente disponível relativa às principais solicitações dinâmicas que actuam em estruturas de engenharia civil, tais como vento, sismos, tráfego, vibração de máquinas e explosões.

Presta-se particular atenção às solicitações dos dois primeiros tipos mencionados e, para estas, consideram-se os problemas principais de: i) medição das solicitações actuantes: ii) sua idealização analítica e experimental.

Como conclusão e tema de discussão, propõem-se linhas mestras para prosseguimento da investigação neste domínio.

1 — INTRODUCTION

Progress in the structural field implies the improvement of knowledge of both the acting loads and the structural behaviour under these loads. In general it can be said that the actual knowledge of dynamic loads is not great. So, it is easy to understand the interest of not only obtaining data that allow a better definition of these loads, but also of establishing the most convenient methodology for their analysis.

For the distinction between static and dynamic loads a first difficulty arises from the fact that this distinction cannot be established on the basis of the loads themselves but has to consider the type of structure on which the loads act. In fact, a load has to be considered as dynamic when its variability in time is such that to study the structural behaviour the effects of the inertia fo the masses of the structure cannot be neglected.

A second difficulty concerning the definition of dynamic loads arises from the interaction between the structural behaviour and the loads themselves. Considering the dynamic loads as a system of forces variable in time, these forces are often directly influenced by the behaviour of the structure. This for instance occurs in wind actions due to aeroelastic effects and in earthquake problems owing to the interaction between the structure and the soil. In the present report it is tried to define the loads in a fundamental way, in order that these interactions may be studied by considering the total behaviour of the overall system.

To limit the scope of the report attention is focussed on the loads that act on civil engineering structures such as buildings, bridges and towers.

The types of loads to be referred are those due to: wind, earthquake, traffic, machinery and blast. The two

* Introductory report presented at the VIII Congress of the International Association for Bridge and Structural Engineering, New York, September, 1968.

** Associate Director.

Received April 2th. 1971.

first types of loads which in general are more important are studied in more detail.

For each type of load the main problems to be considered are: i) measurement of the acting loads, ii) their analytical and experimental representations. The discussion of the most convenient methods for dealing with these problems is very important and, as referred, it is hoped that during the Congress the discussion shall cover methodology and not be limited to the presentation of results.

For the purpose of choice of method two fundamental types of representation are considered: deterministic and stochastic. The deterministic representation implies the complete knowledge of the variation of the loads with time. The stochastic representation only implies the knowledge of the statistical distributions of these variations.

Machine vibrations or blast pressures may be examples of loads for which a deterministic approach applies. Wind and earthquake loads in general can only be conveniently represented by stochastic schemes.

The improvement of load knowledge implies that systematic measurements are performed in nature. The dynamics character of the loads makes these measurements particularly difficult. The difficulties are of two principal kinds. The first comes from the fact that often it is not possible or practical to measure directly the acting forces but only other magnitudes from which the forces are to be derived. That is for instance the case for the wind for which it is the velocity and not the pressure that has to be considered. So a new problem has to be solved: to transform the velocities in pressures.

The second difficulty comes from the response of the measuring device in function of the frequencies involved. In fact the measuring devices behave in general as low-pass filters, have often a non-flat frequency response and even in some cases are non-linear, that is, the response is a function of the mean intensity of the load. For a correct interpretation of the results, the measuring devices have to be considered as transfer systems and the characteristics of their response accurately studied.

Difficulties of this type appear for instance in relation to the use of anemometers. The results available have to be interpreted by duly taking into account the dynamic characteristics of the apparatus.

Once the nature of the loads is well understood the convenient representations of the loads to be used in analytical or experimental studies have to be discussed. The representations must be of a nature as fundamental as possible in order that they can be applied with generality. Also the analytical representations of the loads must fit the general theories to be used for studying structural behaviour. Particularly in the stochastic scheme the fundamental concepts of the theory of random vibrations [1,2] must be respected.

It is also convenient that analytical representations are as simple as possible. The influence of the introduced simplifications must be analysed and the range in which they apply must be defined.

In the case of permanent loads the definition of duration is not important. In the case of non-permanent loads it is convenient to split up them by the consideration of intervals with given durations. So wind and earthquake loads shall be represented by time series having each a given duration. A further usual simplification consists in supposing that the statistical distribution from which the time series derives does not change along the time for the assumed duration; that is to suppose that the phenomena are stationary.

The experimental representation of the dynamic loads must also satisfy some general conditions. Loads representing the actual ones are to be imposed on models and behaviour of these models has to be interpreted using theories of similitude. The frame in which similitude applies imposes conditions on the load representation. When interpreting the results the limits within which the tests were performed have to be duly considered.

So, for instance, wind tunnel tests in general disregard wind gradients and do not respect the similitude for turbulence. Dynamic tests for the study of earthquake problems often use vibrations that are far from representing earthquake movements.

To allow a comparison between analytical and experimental results it is convenient that analytical and experimental representations of the loads are in accordance.

Finally, the problem of load forecasting has to be considered. This forecasting must in general be established on statistical bases. Statistical concepts of safety may then be applied.

Is must be well understood that this statistical forecasting has nothing to do with the (deterministic or stochastic) scheme adopted for the representation of the load variations in time.

The general problems concerning dynamic loads on structures have been recently studied in several symposia, among which the «RILEM Symposium on the Measurement of Dynamic Effects and Vibrations of Constructions» held in Budapest in 1963, the «Symposium on Vibration in Civil Engineering» held in London in 1965 [3], and the «RILEM Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structures» held in Mexico in 1966. The particular problems concerning wind and earthquake loads have been dealt with in special meetings that are referred below. Davenport in the report presented at the symposium held in Mexico [4] makes an interesting general analysis and a comparison between wind and earthquake loads.

2 — WIND LOADS

2.1 — Nature of wind

A good understanding of wind phenomena implies the general knowledge of wind causes.

As is well known, the wind velocity increases with the height above ground and for heights of about 300 to 600 m reaches a limit value (gradient velocity)

that is mainly governed by pressure gradients (direct connected with thermal effects) and geostrophic accelerations. This gradient velocity can be analytically related to the mentioned causes.

The wind velocity rapidly varies with time and from point to point. This variation being random the flow is turbulent.

For the study of wind loads it is convenient to consider intervals of time with a given duration (for instance 10 minutes or 1 hour) and to compute for these time intervals the correspondent mean wind velocity. The rapidly varying velocity component then corresponds to turbulence.

Recent studies on the structure of wind that duly consider turbulence have been principally performed in connection with air pollution [5] and aeronautics [6]. Much information coming from these sources is now available but only a small part can be used for studying the wind action on structures. Even so, it must be recognized that the methodology used in these studies is the convenient one. Modern studies on the wind action on structures follow the same lines [7, 8].

2.2 — Wind measurement

The measurement of the wind velocity may be divided into two different problems. The first concerns the measurement of the low frequency component that corresponds with the mean velocity. The second concerns the high frequency component due to turbulence.

Practically all over the world the measurement of mean wind velocities has been in charge of the meteorological services and a large information is available on them. On the contrary measurements of turbulence have been performed in relation with particular researches only.

The meteorological services also indicate maximum velocities but these are difficult to interpret and for the time being are unreliable for use in structural design.

The different types of anemometers for measuring wind velocity can be classified according to their range of frequency.

Among the low frequency types are: Pitot static tubes, propeller and vane anemometers. These instruments have in general cut-off frequencies of about 0.1 c/s.

In the medium range of frequency are membrane or vibrating mass anemometers with cut-off frequencies of the order of 20 c/s.

Finally in the high range of frequency can be considered the hot wire and electric discharge anemometers that respond up to frequencies of about 1000 c/s.

Fig. 1 presents a typical record obtained using a Pitot tube anemometer.

For the interpretation of the records of these different types of anemometers it is necessary not only to calibrate them statically in wind tunnels but also to determino their transfer functions. Besides, their behaviour being offten not perfectly linear, the transfer functions have to be determined for different values of the static component.

Measurements in turbulent flows, and particularly the measurement of turbulence itself, involve important difficulties [9]. These difficulties are much reduced if only mean wind velocities are considered. Owing to the presented reasons, only the mean values of wind velocity constitute a set of valuable data from which the maximum velocities can be derived. The relashionship between mean and maximum velocities has to be based on the actual knowledge of the structure of wind. The spreading of the correct measurement in the high frequency range is most desirable. The data then obtained

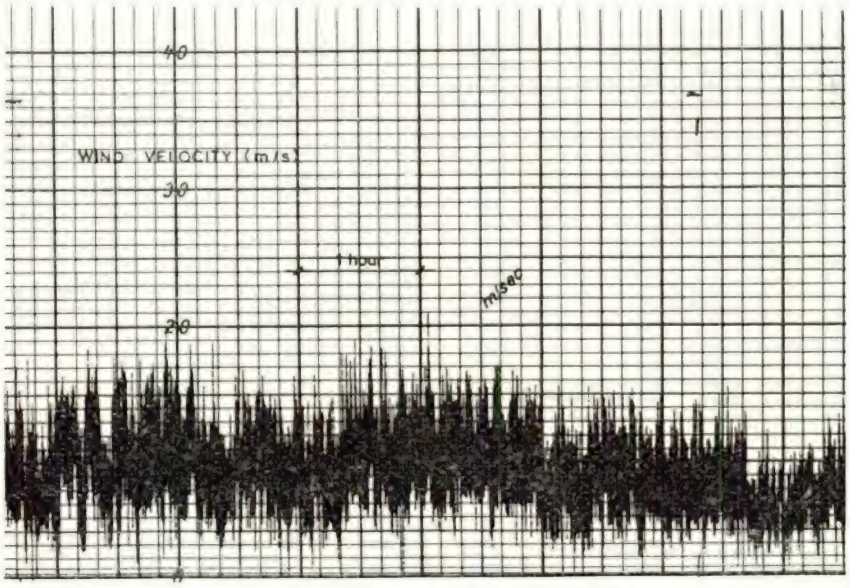


Fig. 1 — Typical record of wind velocity

shall allow not only a better understanding of turbulence but also direct estimates of maximum velocities.

2.3 — Representation of wind

2.3.1 — Mean wind velocity

For the study of the wind loads on a structure it only interests to consider a limited spatial domain surrounding the structure. Also, as referred, only a given interval of time has to be considered, for instance 10 minutes or 1 hour.

In general it shall be reasonable to suppose that in tho given domain the mean velocity is represented by a horizontal component that only varies in function of the height. To define the field of mean wind velocities it is then necessary to define the law of variation of the mean wind velocity with height only.

For the range of height that interests civil engineering and for winds of high velocity (those of interest for the design of structures) the mean velocity at level z, $\overline{U}_z$, may be expressed by a law of the type:

$$\overline{U}_z = \left(\frac{z}{z_G}\right)^{1/\alpha} \overline{U}_G \qquad 1)$$

where $\overline{U}_G$ is the gradient velocity reached at level z_G. The values of z_G and $1/\alpha$ depend on the roughness of the ground.

As the wind velocities are in general measured at heights of about 10 m above the ground it is convenient to use for reference the velocity at this height, $\overline{U}_{10}$ and not the gradient velocity.

Fig. 2 gives the mean wind velocity profiles, acording to Davenport [8] for three typical conditions of ground roughness.

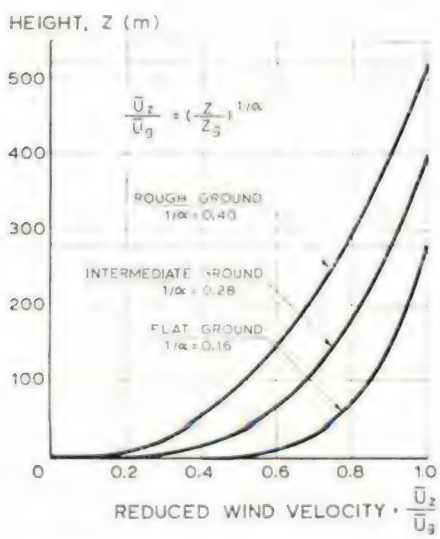


Fig. 2 — Mean wind velocity profiles according to Davenport (8)

To each location there corresponds a statistical distribution of $\overline{U}_{10}$, that defines the probability of this velocity being exceeded during a given interval of time.

2.3.2 — Turbulence of wind

Due to the existence of turbulence it is necessary to add to the mean velocity a varying velocity defined by the components u, v, w (respectively longitudinal, transverse and vertical).

These components are supposed to have a random variation in time and space. The statistical definition of these variations can be performed only by assuming simplifying hypotheses.

A first reasonable hypothesis consists in supposing that the turbulence is stationary during the time interval considered. The variation of velocity at a point may then be statistically described by the variation of the spectral densities of the velocities in function of the frequency or by the Fourier transform of these spectral densities, the autocorrelations. Assuming homogeneity at the different levels, the spectral densities of velocity may then vary in function of the mean wind velocity and the height above ground.

Spectral densities in time are not sufficient to define turbulence completely. It is also necessary to consider the statistical variation in space described by the space spectral densities or space correlations.

For aeronautical problems the turbulence of the vertical component is very important [6]. The same does not apply, in general, to the wind actions on structures. In this case the longitudinal component is of particular interest.

Fig. 3 presents the spectral density of the longitudinal component of wind velocity proposed by Davenport [8]. It represents the mean value of measurements performed at heights ranging from 8 to 150 m. As means were taken, this implies to consider that turbulence does not vary with height in the range considered.

For representing the spectra obtained in different conditions by a single curve, Davenport divides the spectral density S(f) by a coeficient K, a surface drag coefficient depending on the ground roughness, and by $\overline{U}^2_{10}$ the square value of the mean velocity at the reference level. The abscissae represent in a logarithmic scale not directly the frequencies but wave numbers or wave lenghts. The wave number, expressed in cycles per meter, may be reduced to the frequency (c/s) by multiplying it by the mean velocity (m/s). The wave length is obtained by dividing the mean velocity by the frequency.

Taylor hypothesis consists in supposing the validity of the transformation $x = \overline{U}t$, that is, it establishes an equivalence between the variations in space (x) and in time (t). According to this hypothesis the presented spectral density in time may also considered as a spectral density in the longitudinal direction.

As the abscissae are represented in a logarithmic scale it is convenient to multiply the ordinates by the frequency f in order that the integral of the spectral den-

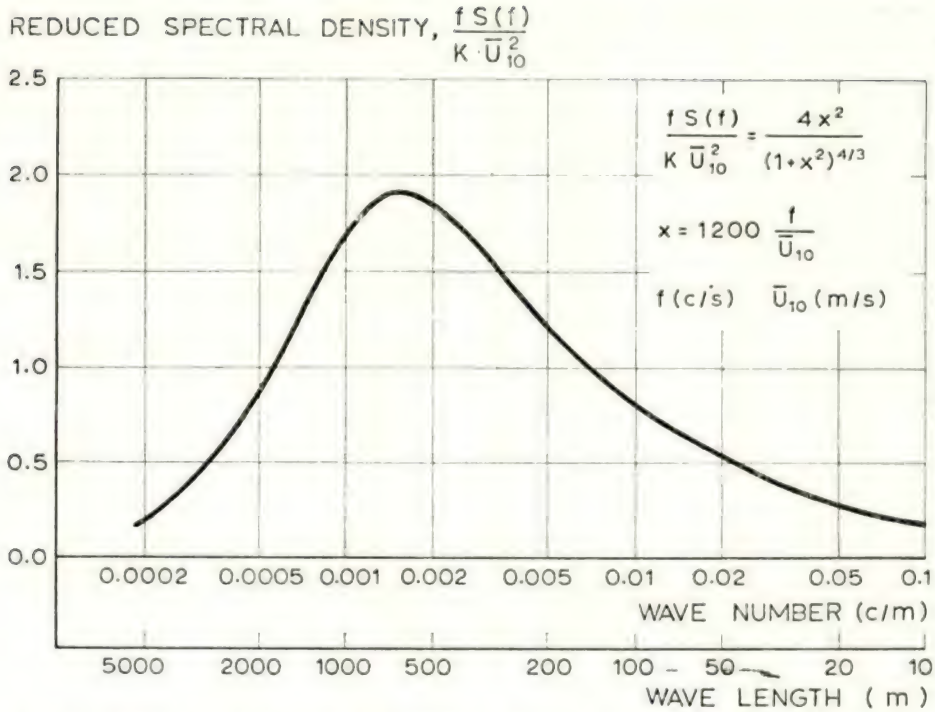


Fig. 3 — Spectral density of longitudinal component of wind velocity according to Davemport (8)

sity represents the mean square value of the velocity fluctuations.

For wave lengths smaller than 500 m the proposed spectrum fits Kolmogorov's law [10]. This law relates the spectral density S (λ) to the wave number, λ, by an expression of the type $S(\lambda) = \beta\,\lambda^{-5/3}$.

To get quantitative information that may be used in structural design the spectrum of fig. 3 is plotted in fig. 4 for a mean velocity of wind of 20 m/s.

This figure shows that the reduced spectral density, $\frac{f\,S(f)}{\sigma^2}$, has a maximum between 1 and 2 cycles/minute. As the frequency increases the spectral density rapidly decreases and for practical purposes may be considered to vanish above 1 or 2 c/s.

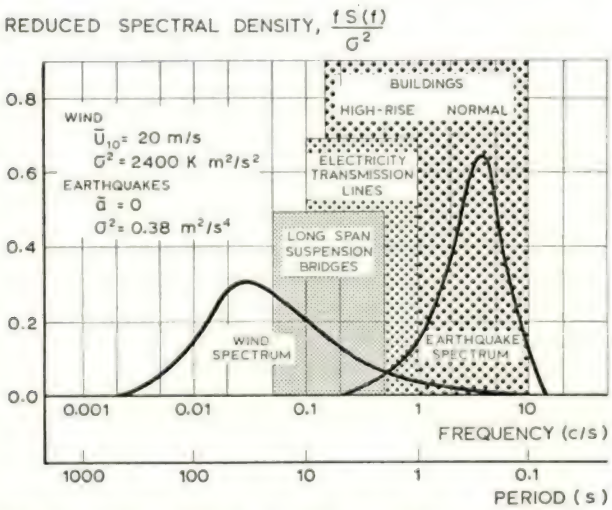


Fig. 4 — Reduced spectral densities of wind velocity and earthquake acceleration

The relative intensity of turbulence that corresponds to the spectra of fig. 3 and 4 is given by $\frac{\sigma z}{\bar{U}_{10}} = \sqrt{6\,K}$. For K = 0.005 this corresponds to a value of 0.17 that is in accordance with the usual intensities of turbulence, between 10 and 20%, indicated by Pasquill [10].

The variation of the longitudinal component of wind velocity in transverse directions can only be defined considering the correlation in these directions or the cross spectral densities S (Δl, f) for points at different distances, Δl.

Davenport [11] relates the cross spectral densities to the spectral density in time, S (f), by means of a coefficient

$$R\,(\Delta l,\, f) = \frac{S\,(\Delta l,\, f)}{S\,(f)} = e^{-\frac{c\,f\,\Delta l}{\bar{U}_{10}}}$$

where c is a constant. $\frac{\bar{U}_{10}}{c\,f}$ has the dimensions of a length and can be interpreted as a correlation scale.

The distance at which wind velocities are correlated is therefore inversely proportional to the frequency and to the coefficient c. Table I indicates for stable atmospheric conditions (that are those of interest in the pre-

sent case) the order of magnitude of the value of c for different directions and turbulence components [11].

Table I

Direction of Δl	Turbulence component	c
longitudinal	longitudinal	8
	transverse	6
transverse	longitudinal	40
	transverse	25
vertical	longitudinal	7
	transverse	7

The fact of the correlation scales being smaller in the transverse than in the longitudinal direction indicates that for strong winds eddies are elongated.

2.4 — Wind actions

The knowledge of wind velocities is not sufficient to define wind actions. It is necessary to know how to transform the velocities in pressures. Duly considering the dynamic character of the phenomena this problem is not yet satisfactorily solved.

Supposing the wind to be a uniform flow, much information is available that allows to transform the wind velocity into local or total pressures. This information is collected in wind codes under the form of pressure coefficients.

Jensen [12] has shown that if the uniform flow is substituted by a boundary layer profile, as indicated in fig. 2, important variations of the pressure coefficients are obtained.

Considering the turbulent character of wind the problem is much more involved. In fact to the turbulence inherent to the wind it is necessary to add the turbulence created by the structure.

The turbulence created by the structure derives mainly from vortex excitation and may be independent or dependent of the deformability of the structure itself.

The first type of phenomena corresponds with von Kármán eddies. The frequency, f, of the vortex-shedding is related to the mean wind velocity, $\overline{U}$, by the Strouhal number, $S = \frac{f\,D}{\overline{U}}$, where D is a typical length. As there is a dominant frequency f this is not a true turbulence; it is often called a quasi-turbulence. A review of the problem of vortex-shedding for rigid circular cylinders is presented by Lienhard [13].

The excitation of vibration due to the deformability of the structures is a still more complex phenomenon. A simple case where the mechanism of the vibrations can be easily understood is the following.

Consider a horizontal wind and a structure vibrating vertically. The vibration of the structure corresponds to a transverse component of velocity. To combine this transverse component with the longitudinal one is equivalent to consider an oblique incidence. If the profile of the body is such that for this oblique incidence there is a negative lift, this lift force tends to increase the vibration of the system and may be considered a negative damping. If this negative damping exceeds the positive damping of the structure, self-excited vibrations of increasing magnitude will occur.

For systems with several degrees of freedom the phenomena of aerodynamic instability may be associated with coupling of different modes giving rise to flutter phenomena.

Finally it may also occur that the turbulence produced by one structure influences neighbouring ones.

Scruton [14] reviews the different aspects of wind-excited vibrations of structures. Owing to the complexity of the involved phenomena it can be said that general analytical solutions cannot yet be obtained. Model tests in wind tunnels yield very useful result.

2.5 — Model tests

Usually, when building a wind tunnel it is sought to reduce turbulence as much as possible in order to obtain a uniform air flow. A tunnel in these conditions is well adapted for determining pressure coefficients, but obviously does not allow to study the influence of the turbulence of natural wind.

Recently several tunnels were built [8] to reproduce the variation of wind velocity with height. This is obtained by increasing the roughness of the deck wall in comparison with that of the other walls. Fig. 5 represents the boundary layer wind tunnel of the University of Western Ontario.

In future it would be desirable to be able accurately to control the turbulence of wind tunnels in order to perform dynamic tests with the turbulence to scale.

2.6 — Data for design

Among the data for design it is necessary to define the maximum wind velocities to which the pressure coefficients apply. The maximum velocities at present used are not currently defined on a statistical basis.

It is important to be able to relate maximum and mean velocities. Several authors studied this problem [15, 16]. Castanheta [17] adopting the velocity power spectrum indicated by Davenport [8] computed the statistic distribution of the ratio of the maximum velocities, U_f, to the mean velocities recorded in time intervals t_0 = 10 minutes or 1 hour. The maximum velocities, U_f, are those that would be recorded by ideal filters with sharp cut-off frequencies f = 0.2, 0.5, 1.0 and 2.0 c/s.

Table II indicates the obtained ratios of the mean maximum velocities to the mean velocities. These values refer to a height of 10 m above ground.

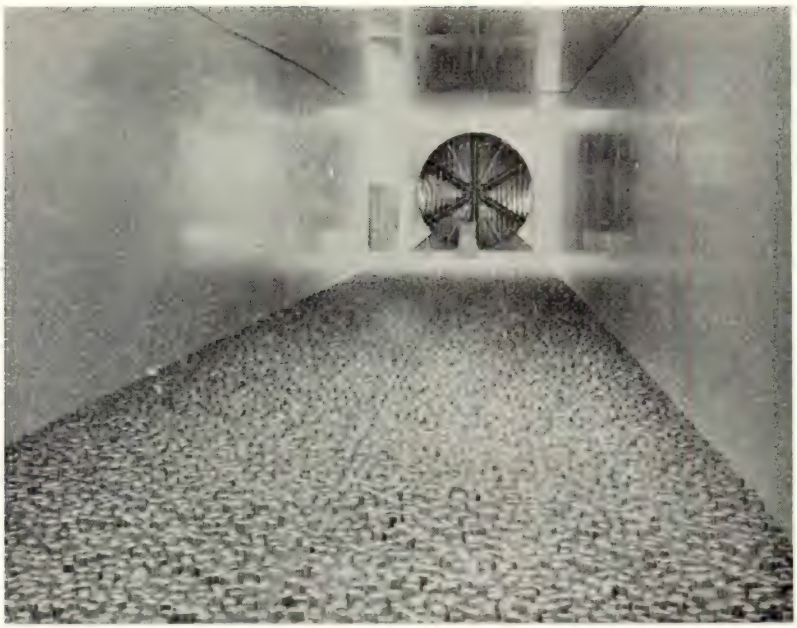


Fig. 5 — Boundary-layer wind tunnel of the University of Western Ontario

Table II

Cut-off frequency f (c/s)	t_o = 10 minutes			t_o = 1 hour		
	Roughness coefficient, K (*)			Roughness coefficient, K (*)		
	K=0.005	K=0.010	K=0.015	K=0.005	K=0.010	K=0.015
0.2	1.44	1.63	1.77	1.54	1.75	1.92
0.5	1.50	1.71	1.87	1.58	1.83	2.02
1.0	1.53	1.75	1.92	1.63	1.88	2.07
2.0	1.56	1.79	1.97	1.66	1.92	2.13

(*) As defined by Davenport [8]. K = 0.005 corresponds to a flat ground and K = 0.015 to rough conditions, as those occurring in the centre of a town.

It is interesting to notice that the variation of the coefficients due to the variation of the cut-off frequencies is practically independent of the roughness coefficient and the time interval.

Taking for reference the frequency of 2.0 c/s reductions of 2, 4 and 9% are obtained for the cut-off frequencies of 1.0, 0.5 and 0.2 c/s, respectively.

Assuming that a structure behaves like a filter with a given cut-off frequency the indicated reductions could be applied to the maximum velocities used for design. As the pressures are proportional to the square of the velocities, the reductions of the pressure would be twice the indicated ones.

In the case of structures with long fronts a further reduction can be considered related to the transverse correlation of wind velocities. So far these reductions have been mainly established on experimental bases [18, 19]. The information now available on the turbulence of wind is already sufficient lo allow an analytical determination of these reductions [17, 20].

The above considerations show that reductions of wind loads due to the turbulence of wind are only justified for structures of very low frequency, such as long span suspension bridges, electricity transmission lines and high-rise buildings, fig. 4. In fact structures of these types present natural frequencies of about 0.1 c/s or even less. The same does not apply to ordinary buildings (of no more than 10 stories) that have in general frequencies above 1 c/s. For structures of this type wind can be considered as a static load.

On the other hand for very deformable structures, such as suspension bridges, aeroelastic phenomena may be paramount importance [21].

For improving the knowledge concerning wind loads it seems very important to observe the real behaviour of structures [22]. Such studies will confirm the assumed hypotheses and indicate the most promising research lines.

3 — EARTHQUAKE LOADS

3.1 — Nature of earthquakes

It is generally accepted that earthquakes are produced by local ruptures of the earth's crust. Earthquake vibrations may be felt at very large distances from the epicentral zone but, in general, they only affect constructions in a much smaller radius. Within the area in

which earthquakes are destructive, soil movements have an irregular character as can be appreciated from the available records, fig. 6.

Man-made explosions may also be the cause of soil vibrations that in some aspects may be compared with the movements due to earthquakes.

Owing to the earthquake vibrations, water masses enter in movement and may produce large waves in the sea (tsunami) and also hydrodynamic pressures on structures that are submerged in or in contact with water.

the number of strong-motion accelerographs is rapidly increasing. Even so the most important seismic regions are not yet conveniently covered.

3.3 — Representation of earthquake

A very important contribution to the representation of soil movements due to earthquakes is due to Housner [27] who assimilated these movements to a set of random pulses and represented them by acceleration, velocity or displacement spectra. As defined by Housner, the spectrum of a given magnitude, for instance velocity, indicates the maximum values of velocity that simple oscillators with different natural frequencies and different damping suffer when subjected to the considered motion. Housner computed the spectra of several strong-motion accelerograms and proposed to represent earthquake motions by the spectra indicated in fig. 7.

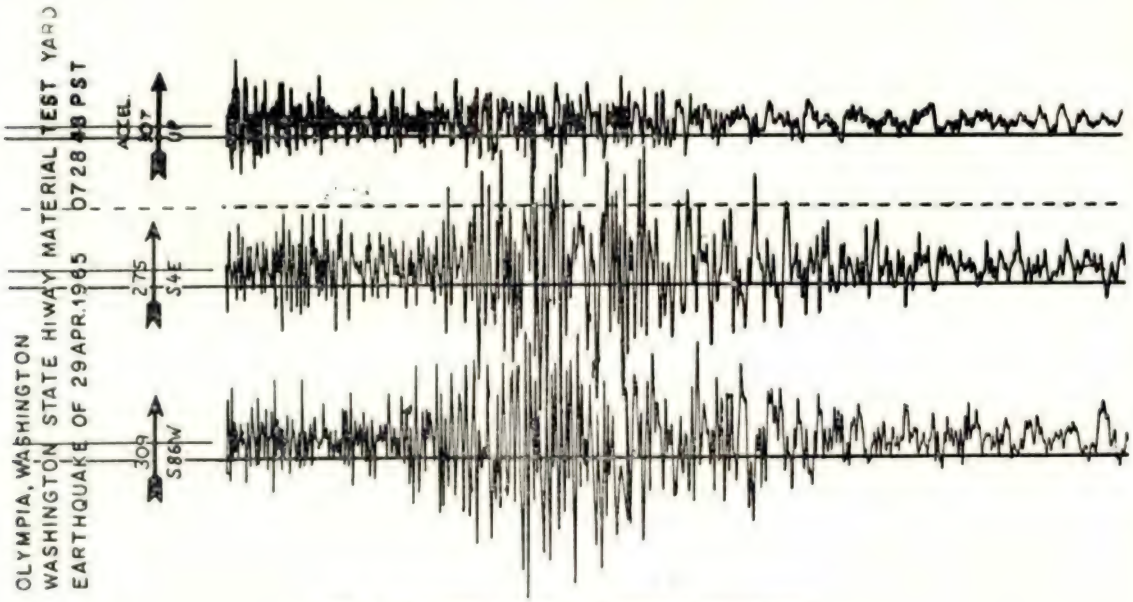


Fig. 6 — Typical record of earthquake acceleration

In recent years much effort has been made to investigate earthquake causes, to define the seismicity of the different regions of the globe, to study the most adequate methods to measure and represent seismic movements and to study the behaviour of constructions under earthquake loads. Among the abundant literature on these subjects, the proceedings of the World Conferences of the International Association on Earthquake Engineering are of paramount importance [23, 24, 25]. The recent effort of UNESCO in co-ordinating and promoting research in this field must also be emphasized.

3.2 — Earthquake measurement

Although the small amplitude movements of soil due to distant earthquakes have been recorded for many years, only recently the convenient equipment for recording strong motions was developed [26].

The apparatus now currently used records the three components of the soil acceleration and automatically starts the recording when the vertical or one of the horizontal components exceed about 0.01 g.

The dynamic characteristics of this equipment and the velocity at which the record is performed are adequate for further analysis of the seismic vibrations. Also

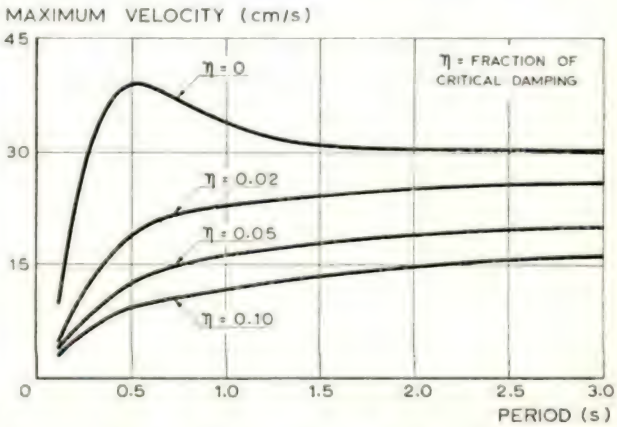
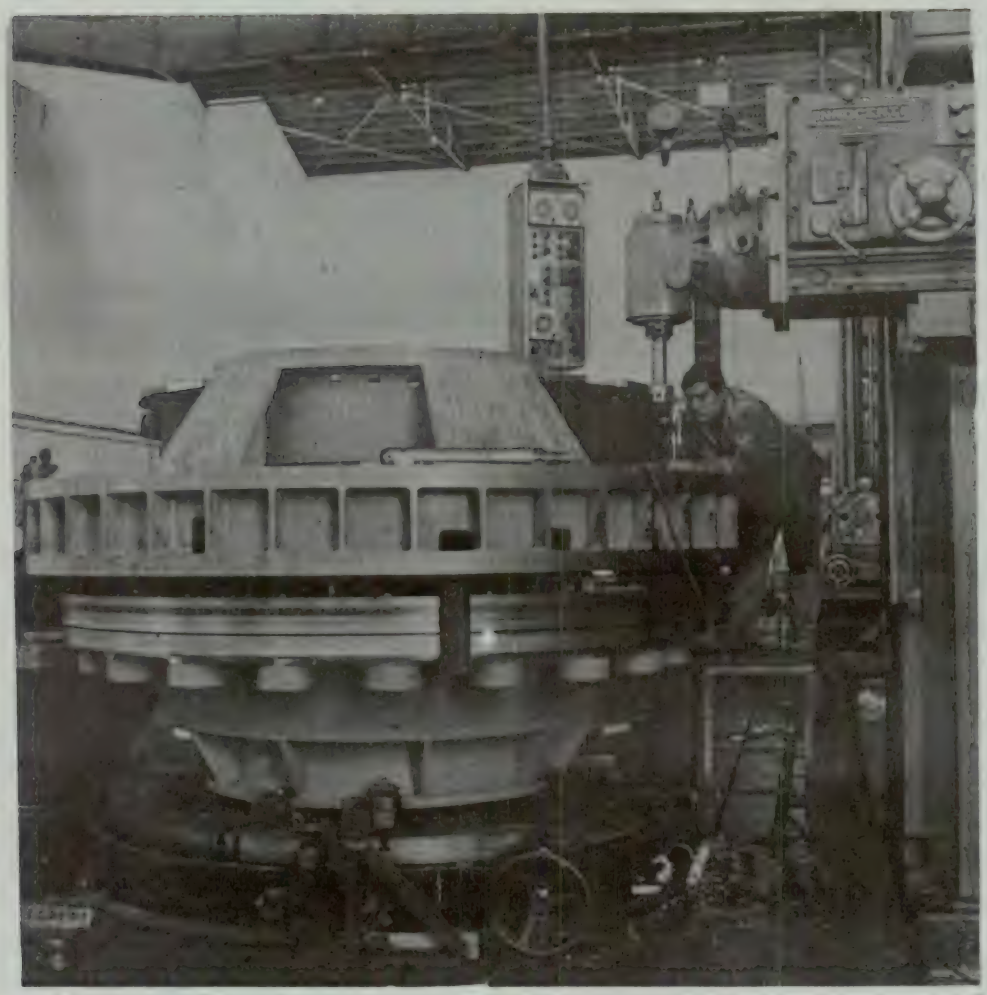


Fig. 7 — Spectra of maximum velocities according to Housner (27)

MAGUE



Mandrilamento conjunto dos anéis do distribuidor de 1 Turbina "Francis" de 100500 CV para a Central de Vilarinho das Furnas. (Sob licença e em colaboração com A.C.M. de Vevey, SA)

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

A utilização de betão pronto impôs-se
ao dono da obra,
ao técnico responsável
e ao empreiteiro
porque garante qualidade,
rapidez e economia
em relação
a um betão fabricado em estaleiro.

Consulte-nos.

Os nossos serviços técnicos
e comerciais
terão o maior prazer em prestar
todo o apoio
e colaboração
que nos forem solicitados.

UMA NOVA MARCA DE BETÃO PRONTO

JOMATEL

EMPRESA ELECTRO-CERÂMICA, SARL

SEDE: LARGO BARÃO DE QUINTELA, 3 — LISBOA

DISJUNTORES Mb 16

LIC. AEG

CARACTERÍSTICAS

- CORTE DUPLO
- CONTACTOS DE PRATA
- APERTO MECÂNICO PARA CONDUTORES ATÉ 4 mm²
- TERMINAL DE LIGAÇÃO DO FIO DE TERRA
- REGULAÇÃO: 9 TIPOS DE APARELHOS ENTRE 0.2 E 16 A CONFORME QUADRO ABAIXO
- TENSÃO NOMINAL 500 V
- CORRENTE INSTANTÂNEA NOMINAL NA LIGAÇÃO (Segundo VDE):
  COM RELÉS TÉRMICOS ATÉ 10 A: 240 A MAX.
  COM RELÉS TÉRMICOS DE 10 A 16 A: 380 A MAX

GAMAS DE REGULAÇÃO

I — 0,2 a 0,35 A	VI — 2,5 a 4 A
II — 0,35 a 0,6 A	VII — 4 a 6 A
III — 0,6 a 1,0 A	VIII — 6 a 10 A
IV — 1,0 a 1,6 A	IX — 10 a 16 A
V — 1,6 a 2,5 A	

Another way to describe the randomness of soil accelerations consists in defining the power spectral density of acceleration. This description uses the fundamental magnitudes of the theory of random vibrations that were also used to describe wind turbulence.

The representation adopted by Housner and others [28, 29] corresponds to a white noise vibration (vibration of constant power spectral density). The variation of the power spectral density in function of the frequency was proposed by Tajimi [30], on basis of preliminary work of Kanai [31], and by Barstein [32]. In a study dealing with the probabilistic approach to earthquake-resistant design Rosenblueth [33] reviews the different idealizations of seismic loads.

Bycroft [34] has shown that the velocity spectra indicated by Housner were equivalent to a white noise vibration limited to the range from 0.2 to 5 c/s, each sample having a 30 s duration. He indicates the spectral density of 695 $cm^2\ s^{-4}/c/s$ as equivalent to the NS record of EL Centro 1940 earthquake.

Recently Ravara [35], Jennings [36] and Arias and Petit Laurent [37] used digital computers to determine direct from the available earthquake records the correspondent spectral densities.

Although the spectra present important fluctuations it is possible to deduce a mean law of variation of the spectral densities in function of the frequency (fig. 8). Analytical expressions for this law have been proposed by several authors [30, 36, 38, 39]. It is to be expected that the variation of the spectral density will depend on the geometry and mechanical properties of the soil. Unhappily the information now available does not yet permit to quantify this influence nor the one deriving from the epicentral distance.

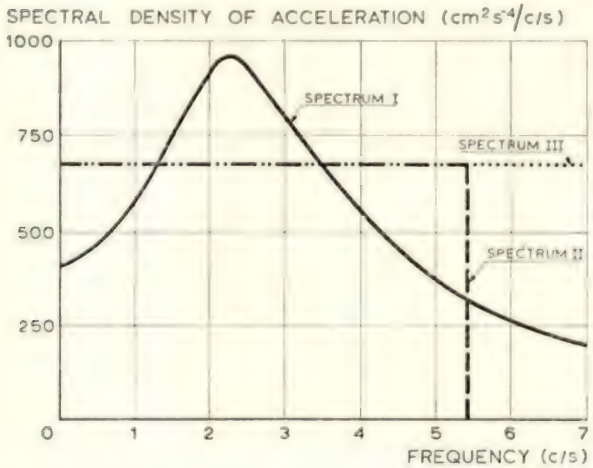


Fig. 8 — Variation of the spectral density of acceleration in function of frequency

It must be emphasized that the difference between the representation by a white noise of limited range of frequencies and the spectrum function corresponding to a linear oscillator is not as important as could be imagined. In fact mechanical systems always behave as filters that cut-off the frequencies above a given limit, and so it is just the same whether loading has a zero or non zero spectral density above this limit. Pereira [39] compared the response of linear oscillators for 3 types of spectral functions (fig. 8) and obtained the results indicated in fig. 9 that well confirm the above conclusion.

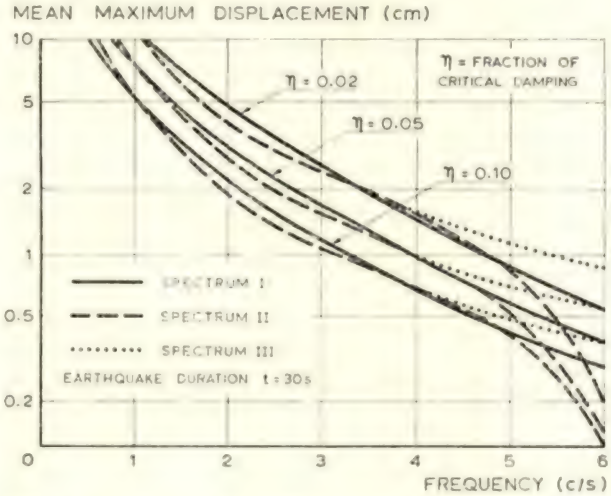


Fig. 9 — Variation of the mean maximum displacement of one-degree of freedom linear oscillators in function of frequency, according to Pereira (39)

To represent the soil movements completely it would be necessary to define at each point not only the variation of acceleration with time but also the cross-correlations in different directions. There are at present no elements allowing to obtain these data. Even so the correlations in time computed by Barstein [32] and Arias and Petit Laurent [37] give useful information concerning the dimensions of the areas in which the soil vibrations can be considered as approximately uniform. In fact the time interval for which the correlation falls down is of the order of 0.1 s. So even considering high velocities of propagation of the seismic waves, points at a distance of about 100 m shall have simultaneously similar movements. The same may no longer be true if the points are more than 500 m apart.

A representation of earthquakes that allows to study the non-uniformity of the vibrations at different points was proposed by Bogdanoff, Goldberg and Schiff [40]. These authors consider packets of damped oscillatory waves with random amplitudes, frequencies, arrival times, phases and velocities of propagation. This representation is used to study the longitudinal vibration of a suspension bridge.

3.4 — Structural behaviour

Analytical methods now available allow to study the behaviour of structures under very general hypotheses. Lumped mass methods expressed in matrix form, and making use of digital computers, are a powerful tool for the dynamic analysis of structures.

The earthquake idealization presented above constitute the necessary basis for performing this dynamic analysis.

When considering earthquake representation it cannot be forgotten that, due to the interaction between the soil and the foundation, the vibrations in fact applied to the structure may be very different form those considered. This problem can only be dealt with by duly studying the behaviour of the whole structure-soil system and assuming that sufficiently for from the structure the soil vibration is in accordance with the given representations.

3.5 — Model tests

Although the power of analytical methods is nowadays very much increased by the use of digital computers many problems cannot yet be conveniently solved in this way and for them model studies constitute the convenient approach. Both mechanical models and electric analogies may be considered as models, although electric analogies are in general more close to the analytical representation.

Analog computers have been used with much sucess to study dynamic problems concerning earthquake actions [14]. Random vibrations may be conveniently studied in this way. In fact, random noise generators constitute a standard equipment that may be used to feed the analog computer.

In dynamic tests different techniques can be followed to reproduce soil vibrations [42]. For many years sinusoidal shaking tables have been in use with control of frequency and amplitude. In other cases vibrations have been induced by impacts that produce damped sinusoidal vibrations whose frequency depends on the system of springs attached to the table.

At the Laboratório Nacional de Engenharia Civil, model tests have been mainly performed using random vibrations, since 1960 [43, 44]. Fig. 10 shows the test set-up. The loads applied to the model represent to a convenient scale the soil vibration and both the spectrum (usually considered a limited range white noise) and the duration are reproduced. By performing several tests it is possible to determine the mean maximum values of the response. By successively increasing the power spectral density it is possible to study the behaviour in the non-linear range and even up to rupture. Model studies in which random noise vibrations are used have also been recently performed in Japan [45, 46].

The shakers used in these studies are of the electromagnetic type and so only adequate for frequencies above 20 c/s. Automatically controlled hydraulic jack systems now produced in some countries are well adequate to perform model dynamic tests. With these systems forces of the order of magnitude of hundreds of tons may be applied and these forces can be varied up to frequencies of about 20 c/s [47]. As in some cases forces can be varied according to any given program, random vibrations may also be applied. It is to be expected that systems of this type shall be very useful for seismic studies on models.

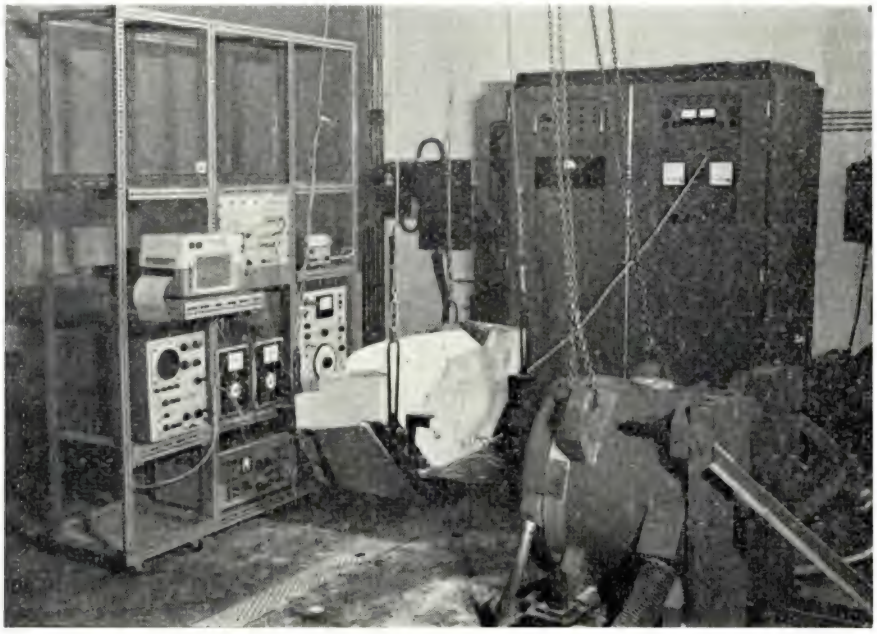


Fig. 10 — Random-vibration set-up for model testing

3.6 — Data for design

In general the codes on earthquake resistant construction [48] specify seismic coefficients to be applied to the weight of the masses existing at the different levels, thus allowing to compute the horizontal forces for which the structure has to be designed. In this way

earthquake dynamic forces are transformed in equivalent static ones.

It is very difficult to establish the seismic coefficients in order to contain all the information corresponding to a complet dynamic analysis. Although rough, the design according to seismic coefficients guarantees a resistance to horizontal forces, which is very important from a practical point of view.

Considering the difficulties of dynamic analysis, the specification of seismic coefficients may be considered a convenient procedure to give information to designers, mainly for usual types of structures as, for instance, ordinary buildings. For structures such as dams, high-rise buildings, big bridges and towers it is in general necessary to carry out a complete dynamic analysis [49].

4 — OTHER TYPES OF DYNAMIC LOADS

The space available for this preliminairy report only allows a very brief reference to the principal types of dynamic loads.

The following considerations are only intended to introduce and stimulate the discussion on dynamic loads besides those due to wind and earthquakes.

4.1 — Traffic loads

The problem of traffic dynamic loads on bridges is entirely different according as road or railway bridges are concerned.

For road bridges the actual tendency of codes is to distinguish between loads due to traffic congestions and loads due to exceptionally heavy vehicles [50]. Intermediate hypotheses do not correspond to extreme conditions. As traffic congestions may be considered as static loads, dynamic behaviour has to be studied only for exceptionally heavy vehicles.

For railway bridges the problem is completely different. The repetition of the loads, associated very often with inversion of stresses, may produce fatigue. The study of dynamic behaviour is of paramount importance in this case.

Another type of dynamic traffic load is the one due to landing aircrafts.

For the improvement of the actual knowledge of traffic loads it seems convenient to decompose the dynamic effects into deterministic and stochastic parts. These parts would be separately analysed according to the respective theories. Thus design rules more accurate than the present ones would be obtained.

4.2 — Machinery loads

Dynamic loads due to machinery may in general be established on a deterministic basis by being assimilated to periodic vibrations. In some cases, special types of machinery such as ball-mills also produce random vibrations.

Each machine vibration problem has its own peculiarities and is is difficult to give general information of interest. Specialized books [51, 52] contain useful information on this subject.

4.3 — Blast loads

The general term of blast refers both to soil vibrations and to fluctuations of air pressure due to man-made explosions.

Concerning soil vibrations, blast effects may be assimilated to seismic movements. Available records show that the accelerations may also be considered as random, but the time duration of the vibrations is much shorter than the one assumed for earthquakes [53].

Studies dealing with quarry blasting [54] relate the damage in the constructions and the acceleration or velocity peaks with the distance to the shot and explosive charge. Other studies deal with nuclear underground explosions and analyse the records in terms of their power spectral density [55].

The air blast effects are mainly related to the explosion of nuclear weapons in the atmosphere. The pressure wave resulting from an explosion near ground consists of an abrupt rise in pressure followed by a decay from which a negative pressure half-wave results [56]. The shape of the pressure wave is well defined and so its effects on structures can be studied by using the deterministic theory of vibrations.

The value of the load to be adopted in design has to be established on a strategic basis taking into account the degree of protection that is desired.

Sonic boom can also be considered as a type of blast load.

5 — CONCLUSIONS

The main purpose of this introductory report is to serve as a basis for the discussion to be held during the Congress. So the present conclusions contain proposals on research subjects about which discussion is desirable.

5.1 — The need of a correct definition of the loads acting on the structures was emphasized. It is important to state this definition in a basic way according to well-established general theories. Discussion on the most convenient methodology to attain this scope is welcome.

5.2 — Recent progress concerning the knowledge of the dynamic action of wind was described.

To increase the available information it seems desirable:

5.2.1 — To record systematically, by convenient anemometers, the turbulence of wind, in supplement to the actual recording of mean velocities.

5.2.2 — To improve the actual representation of wind by using velocity spectra that duly vary in function of geographical conditions and other pertinent variables.

5.2.3 — To establish on sound statistical basis the velocities to be used in design.

5.2.4 — To study the dynamic behaviour of structures taking simultaneously in consideration the turbulence

inherent to the natural wind and the turbulence created by the structure itself. For this purpose model studies considering the wind velocity profile and turbulence effects seem promising.

5.2.5 — To pursue the observation of important structures in order to get more information concerning their behaviour under wind actions.

5.2.6 — To include in the building codes not only simplified data for the design of usual structures, but also basic data that can serve for desing of important structures.

5.3 — For further progress in the definition of seismic loads the following lines seem promising:

5.3.1 — To continue installing strong-motion accelerographs and duly interpret the obtained records.

5.3.2 — To define the seismic loads by the spectral density of acceleration and consider the variations of the spectra due to local conditions.

5.3.3 — To define seismicity of a region by the probability of a given level of spectral density of acceleration being reached in that region. The seismicity of the different regions must be established by combining geophysical, geological and seismic information and using, as far as possible, quantitative statistical criteria.

5.3.4 — To pursue analytical and experimental studies, based on the theory of random vibrations, mainly for obtaining further information concerning the behaviour of linear and non-linear systems with several degrees of freedom.

5.3.5 — To complement the installation of strong-motion accelerographs for recording soil accelerations, by installing equipment also allowing to observe the behaviour of the structures themselves. Useful information may also be obtained by dynamic tests of real structures, even under vibrations of small amplitude.

5.3.6 — The improvement of building codes is most desirable. As for wind, it would be convenient that codes contain simplified rules for the design of ordinary structures and basic data to be used in special studies of important structures.

5.4 — Discussion is also open on dynamic loads other than wind and earthquakes. Among these, loads due to traffic, machinery and blast were mentioned. New data established on modern scientific bases shall largely contribute to the design of more economical and safer structures.

5.5 — Finally, the importance of international collaboration as a powerful means of accelerating progress must be emphasized. This collaboration may be particularly fruitful for the establishement of recommendations of general character on which regional codes may be based.

Acknowledgment

The collaboration of Messrs. Jervis Pereira, Mário Castanheta and Artur Ravara, Specialists and Assistant Research Engineer of the staff of Laboratório Nacional de Engenharia Civil is gratefully acknowledged.

REFERENCES

[1] — GRANDAL, S. H., and MARK, W. D. — Random Vibrations in Mechanical Systems, Academic Press, New York, 1963.

[2] — ROBSON, J. D. — An Introduction to Random Vibration, Edinburgh University Press, 1963.

[3] — Vibration in Civil Engineering, Proceedings of a Symposium organized by the British National Section of the International Society for Earthquake Engineering. Butterworths, London, 1966.

[4] — Davenport, A. G. — The Nature of Disturbing Forces, Report on Theme I, International Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structures, RILEM, México, September 1966.

[5] — Advances in Geophysics, Volume 6, Proceedings of Symposium on Atmospheric Diffusion and Air Pollution, held at Oxford, August, 1958, Academic Press, New York, 1959.

[6] — Atmospheric Turbulence and Its Relation to Aircraft, Symposium held at the Royal Aircraft Establishement, Farnborough. November, 1961.

[7] — Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings of the Conference held at the National Physical Laboratory, June, 1963. Her Majesty's Stationery Office, London, 1965.

[8] — DAVENPORT, A. G. — The Treatment of Wind Loading on Tall Buildings, Symposium on Tall Buildings, University of Southampton, April, 1966.

[9] — HINZE, J. O. — Turbulence. An Introduction to Its Mechanisms and Theory. Mc Graw-Hill Company, Inc., New York , 1959.

[10] — PASQUILL, F. — The Statistics of Turbulence in the Lower Part of Atmosphere, Symposium on Atmospheric Turbulence and Its Relation to Aircraft, Farnborough, November, 1961.

[11] — DAVENPORT, A. G. — The Relashionship of Wind Structure to Wind Loading, Symposium on Wind Effects on Buildings and Structures, National Physical Laboratory, June, 1963.

[12] — JENSEN, M., and FRANCK, N. — Model Scale Tests in Turbulent Wind, Danish Technical Press, Copenhagen, 1965.

[13] — LIENHARD, J. H., — Synopsis of Lift, Drag and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders, Bulletin 300, Washington State University, Washington, 1966.

[14] — SCRUTON, C. — A Brief Review of Wind Effects on Buildings and Structures, Journal of the Royal Aeronautical Society, London, May, 1966.

[15] — DURST, C. S., — Duraction of Wind Loading on Buildings, Engineering, Vol. 188, n.° 4884, November, 1959.

[16] — SHELLARD, H. C. — The Estimation of Design Wind Speeds, Symposium on Wind Effects on Buildings and Structures National Physical Laboratory, June, 1963.

[17] — CASTANHETA, M. C. — Sobre o Comportamento Dinâmico de Linhas Eléctricas de Alta Tensão Solicitadas pelo Vento. Tese, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.

[18] — BIRJULIN, A. P., BOURGSDORF, V. V. et MAKHLIN, V. Y. — Les Charges de Vent sur les Lignes Aériennes, Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension, Paris, Juin, 1960.

[19] — HAUTEFEUILLE, P. et PORCHERON, Y. — Recherches Expérimentales Directes sur le Comportement Mécanique de Lignes Aériennes, Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension, Paris, Juin, 1964.

[20] — HIRAI, A. and OKUBO, T. — On the Design Criteria Against Wind Effects for Proposed Honshu--Shikoku Bridges, Symposium on Suspension Bridges, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, November, 1966.

[21] — DAVENPORT, A. G. — The Action of Wind on Suspension Bridges, Symposium on Suspension Bridges, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, November, 1966.

[22] — NEWBERRY, C. W. — The Measurement of Wind Pressure on Tall Buildings, Symposium on Wind Effects on Buildings and Structures, National Physical Laboratory, June, 1963.

[23] — Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, Califórnia, June, 1956.

[24] — Proceedings of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Japan, July, 1960.

[25] — Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, January, 1965.

[26] — HUDSON, D. E. — Ground Motion Measurements in Earthquake Engineering, Symposium on Earthquake Engineering, The University of British Columbia, Canada, September, 1965.

[27] — HOUSNER, G. W.—Characteristics of Strong Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 37, n.° 1, January, 1947.

[28] — GOODMAN, L. E., ROSENBLUETH, E. and NEWMARK, N. M. — Aseismic Design of Elastic Structures Founded on Firm Ground, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, November, 1953.

[29] — ROSENBLUETH, E. — Some Applications of Probability Theory in Aseismic Design, World Conference on Earthquake Engineering, California, June, 1956.

[30] — TAJIMI — A Statistical Method of Determining the Maximum Response of a Bulding Structure During an Earthquake, Proceedings of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Japan, 1960.

[31] — KANAI, K. — Semi-Empirical Formula for the Seismic Characteristics of the Ground, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo, June 1957.

[32] — BARSTEIN, M. F. — Application of Probability Methods for Design the Effect of Seismic Forces on Engineering Structures. Proceedings of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Japan, 1960.

[33] — ROSENBLUETH, E. — Probabilistic Design to Resist Earthquakes. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Engineering Mechanics Division, October, 1964.

[34] — BYCROFT, G. N. — White Noise Representation of Earthquakes, A. S. C. E., Journal of the Engineering Mechanics Division, April, 1960.

[35] — RAVARA, A. — Spectral Analysis of Seismic Actions, III World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, January, 1965.

[36] — JENNINGS, P. C. — Response of Simple Yielding Structures to Earthquake Excitation, Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, June, 1963.

[37] — ARIAS, A. y PETIT LAURENT, L. — Funciones de Autocorrelación y Densidades de Potencia de Acelerogramas de Movimientos Fuertes. Revista del IDIEM, Santiago de Chile, Noviembre, 1964.

[38] — ARIAS, A. y PETIT LAURENT, L. — Un Modelo Teórico para los Acelerogramas de Temblores Fuertes, Revista del IDIEM, Santiago de Chile, Mayo, 1965.

[39] — PEREIRA, J. J. — Behaviour of an Elasto-Plastic Oscillator Acted by Random Noise Vibration, III World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, January, 1965.

[40] — BOGDANOFF, J. L., GOLDBERG, J. F. and SCHIFF, A. J. — The Effect of Ground Transmission Time on the Response of Long Structures, Bulletin of the Seismological Society of America, June, 1965.

[41] — SERAC Reports, Engineering Research Institute, University of Tokyo, Japan, 1962-1964.

[42] — HUDSON, D. E. — Dynamic Tests of Buildings and Special Structures, Colloquium on Experimental Techniques in Shock and Vibration, American Society of Mechanical Engineers, New York, November, 1962.

[43] — BORGES, J. F., PEREIRA, J., RAVARA, A. and PEDRO, J. — Seismic Studies on Concrete Dam Models, Symposium on Concrete Dam Models Lisbon, October, 1963.

[44] — BORGES, J. F. — Dynamic Structural Studies on Models, Final Report, Seventh Congress, International Association for Bridge and Structural Engineering, Rio de Janeiro, August, 1964.

[45] — KAMADA, M., FUJINO, T., ITO, K., YAMAGUCHI, T. and KUWANO, K. — A Study on Static and Dynamic Characteristics of Suspension Bridges, Symposium on Suspension Bridges, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 1966.

[46] — KONISHI, I., YAMADA, Y, — Studies on the Behaviour of Suspension Bridge Tower and Pier Systems to Earthquake Ground Motions. Symposium on Suspension Bridges, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 1966.

[47] — TABLIKOV, U. E. — On the Use of Fatigue Test Equipment to Simulate Seismic Loads, International Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structures, Mexico City, September, 1966.

[48] — Earthquake Resistant Regulations. A World List, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, 1963.

[49] — BLUME, J. A., NEWMARK, N. M. and CORNING, L. M. — Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions, Portland Cement Association, Chicago, 1961.

[50] — Symposium on Loading of Highway Bridges. International Association for Bridge and Structural Engineering, Oporto, 1956.

[51] — BARKAN, D. D. — Dynamics of Bases and Foundations, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1960.

[52] — MAJOR, A. — Vibrations Analysis and Design of Foundations for Machines and Turbines, Collet's Holdings Ltd, London, 1962.

[53] — HUDSON, D. E. — Man Made Ground Motions, Shock and Vibration Handbook, edited by Harris, C. M. and Crede, C. E., Vol. 3, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1961.

[54] — NORTHWOOD, T. D., CRAWFORD, R. and EDWARDS, A. T. — Blasting Vibrations and Building Damage, The Engineer, Vol. 215, N.° 5601, May 31, 1963.

[55] — FRANTTI, G. E. — Energy Spectra for Underground Explosions and Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 53, N.° 5, October, 1963.

[56] — NEWMARK, N. M. and HANSEN, R. J. — Design of Blast Resistant Structures, Shock and Vibration Handbook, edited by Harris, C. M. and Crede, C. E., Vol. 3, n.° 49, Mc Graw-Hill Company, Inc., New York, 1961.

FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS NO MUNDO

OBJECTIVO DO PROGRAMA	LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO INFORMAÇÕES
Cursoh LNEC — Lisboa Mecânica dos solos Engenharia sísmica Mecânica dos meios contínuos generalizados Obras de defesa contra a Erosão Costeira Arquitectura urbana: Métodos e critério para o projecto Fundamentos da Teoria das Estruturas Teoria do Betão Estrutural	Lisboa — de Abril a Junho
Containerization & Cargo Handling Exhibition	Toronto, Abril - 72 Queen St. W., Toronto 3, 416-534-2351
International Congress on Analytical Chemistry	Kyoto, 3-7 Abril - 72 F. of Science, U. of Tokyo, Japan
Fiabilidade	Lisboa, 4-Abril - 72 INII

Técnica 413 Dezembro de 1971 Ano XLVI Volume XXXIV

C. D. U. 621.315.611.017.143 : 541.64

SIGNIFICADO DO CAMPO ELÉCTRICO NO ARVOREJAMENTO DE POLÍMEROS DEVIDO A UMA HETEROGENEIDADE ELÍPTICA E HIPERBÓLICA

por HERMINIO DUARTE - RAMOS
Eng. Electr. (I. S. T. — Lisboa)
Dipl. — Ing. (T. U. Hannover)
Assistente da U. L. (Angola)

RESUMO

Calcula-se a distribuição espacial do campo eléctrico em torno de um elipsóide e de um hiperbolóide de revolução artravés das linhas (superfícies) equipotenciais, que definem a direcção do campo eléctrico, e introduz-se a noção de linhas (superfícies) isocampo para caracterizar a intensidade do campo eléctrico. A comparação da teoria com a experimentação do arvorejamento de polietileno permite interpretar o fenómeno pela acção do campo eléctrico.

SYNOPSIS

We calculate the spatial distribution of electrical field with an ellipsoidal and hyperbolical electrode by means of equipotencial lines (or surfaces), which define the field direction, and the new notion of isofield lines (or surfaces) is introduced to describe the field intensity. A comparison of this lines with the treeing of polyethylene conduct us to an interpretation of the phenomenon by the electrical field action.

LISTA DE SIMBOLOS

- A — área de uma secção;
- a — semi-eixo maior de um elipsóide (ou elipse) e parâmetro de um hiperbolóide (ou hipérbole);
- a_E — semi-eixo maior do eléctrodo elíptico;
- b — semi-eixo menor de um elipsóide (ou elipse) e parâmetro de um hiperbolóide (ou hipérbole);
- b_E — semi-eixo menor do eléctrodo elíptico;
- b_H — parâmetro do eléctrodo hiperbólico;
- c — distância focal comum aos elipsóides (elipses) e hiperbolóides (hipérboles);
- d — espessura do dieléctrico;
- E — intensidade do campo eléctrico;
- $\vec{E}$ — campo eléctrico;
- $E_{E,max}$ — intensidade máxima do campo eléctrico no caso de um eléctrodo elíptico;
- $E_{H,max}$ — intensidade máxima do campo eléctrico no caso de um eléctrodo hiperbólico;
- E_0 — intensidade do campo eléctrico uniforme;
- E_{max} — intensidade máxima do campo eléctrico;
- $E(z)$ — intensidade do campo eléctrico no eixo do eléctrodo heterogéneo;
- $\vec{E}_\eta \vec{E}_\theta E_\psi$ — componentes do campo eléctrico nas direcções dos eixos coordenados η, θ e ψ;
- $g_\eta\ g_\theta\ g_\psi$ — coeficientes métricos;
- $k, k_{1H}, k_{2H}, k_P, k_Q$ — constantes;
- l — comprimento;
- $P_l(\eta)$, $Q_l(\eta)$ — soluções da equação de Legendre de 1. ordem;
- r — raio de curvatura da ponta do eléctrodo heterogéneo;
- r_E — raio de curvatura da ponta elíptica;
- r_H — raio de curvatura da ponta hiperbólica;
- s — distância disruptiva;
- V — tensão (valor eficaz);
- x, y, z — coordenadas carteseanas;
- $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ — vectores unitários do sistema carteseano;
- α — parâmetros das rectas da zona de transição da função $E_{max}(s)$;
- φ — função potencial;

(*) Recebido na redacção em 14-9-971

$\varphi_P(\eta)$ — função potencial particular;

η, θ, ψ — coordenadas do sistema elíptico;

$\vec{\eta}, \vec{\theta}, \vec{\psi}$ — vectores unitários do sistema elíptico de coordenadas;

η_E — parâmetros do eléctrodo elíptico;

θ — parâmetro de um hiperbolóide (hipérbole);

θ_H — parâmetro do eléctrodo hiperbólico;

ρ — distância de um ponto do espaço ao eixo z;

τ — volume.

1. INTRODUÇÃO

A crescente aplicação de materiais poliméricos na electrotecnia e em especial de polietileno no isolamento de cabos eléctricos para altas frequências e de altas tensões mostraram significativa importância no chamado teste de agulhas [1], dada a grande sensibilidade do polietileno a fenómenos de ionização e porque nestes ensaios laboratoriais a energia se pode controlar còmodamente e assim evidenciar a fase anterior à disrupção completa do material, o que não é fácil sob condições normais de serviço.

De facto o fenómeno de arvorejamento (do inglês «treeing») tem sido sempre analisado, teórica e experimentalmente, através de um sistema hiperbolóide-plano devido à realização dos ensaios de investigação se simplificar pela introdução de agulhas de coser em aço niquelado no dieléctrico. Um sistema elipsóide-plano representa no entanto em frequentes circunstâncias um modelo de análise mais rigoroso, como sucede quando se aplica uma tensão entre dois eléctrodos paralelos com uma heterogeneidade adjacente a um deles e de comprimento muito menor que a espessura do dieléctrico. É exemplo evidente um cabo eléctrico em que, por defeito de fabrico, apresenta uma incrustação condutora no material isolante, quer do lado do condutor quer do lado da armadura.

O presente trabalho ocupa-se esencialmente do cálculo das distribuições do campo eléctrico em eléctrodos com perfil elíptico e hiperbólico e da comparação com o desenvolvimento do processo de arvorejamento. Além de se efectuar o cálculo em torno de um elipsóide metálico analisa-se também a distribuição do campo eléctrico à volta de um hiperbolóide (na literatura encontra-se o cálculo apenas no eixo da respectiva hipérbole, como formulou Mason em [2]).

2. HETEROGENEIDADE ELIPTICA

Considera-se fundamentalmental o estudo da distribuição do campo eléctrico no espaço que rodeia uma configuração elíptica. Para se alcançar este objectivo admite-se isotropia do dieléctico e uma configuração geométrica ideal dos eléctrodos.

2.1. Distribuição do potencial

De um modo genérico a função $\varphi(x, y, z)$ representativa da distribuição do potencial num espaço caracterizado pelo sistema de eixos carteseanos *(x, y, z,)*, satisfaz à equação de Laplace

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0. \qquad (1)$$

Se nesse espaço reinar um campo elétrico uniforme E_0, com uma dada direcção, as superfícies equipotenciais são planos normais às linhas de campo (fig. 1 a). Se se introduzir porém um volume metálico no espaço considerado a distribuição do potencial é alterada em função da forma dessa heterogeneidade, de modo que a superfície do volume metálico seja uma superfície equipotencial e a uma distância infinita a perturbação seja nula. Assumindo que o volume metálico tem a forma geométrica de um elipsóide de revolução, com o eixo maior segundo o eixo de coordenadas *z* e o centro na origem de coordenadas, o plano *x, y*, normal ao elipsóide e passando exactamente pelo centro, é também uma superfície equipotencial (fig.1 b).

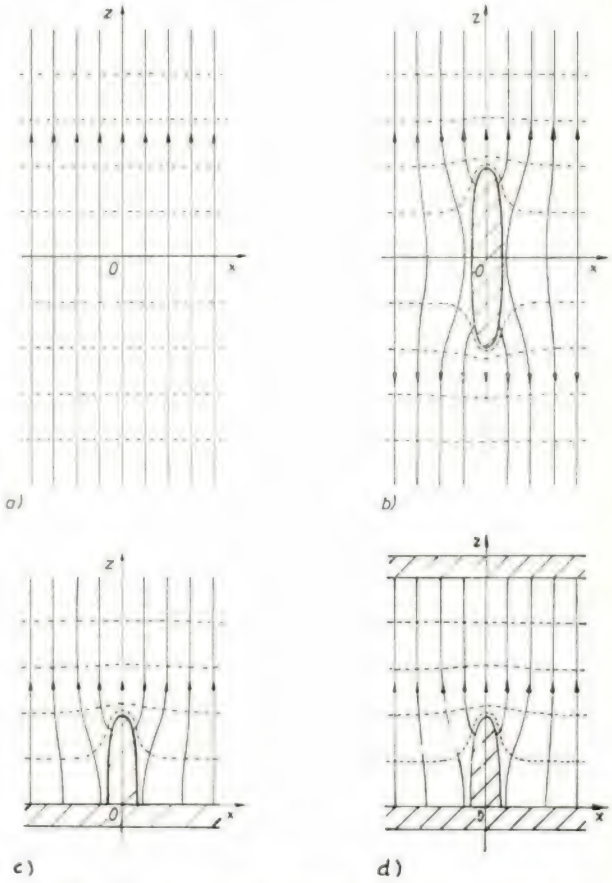


Fig. 1 — Esquematização do princípio de cálculo de uma configuração elíptica (linhas equipotenciais a traço-traço e linhas de campo eléctrico a traço contínuo).
a) Campo uniforme.
b) Perturbação do campo devida a um elipsóide metálico.
c) Formação do eléctrodo elíptico por um plano e um semi-elipsóide.
d) Configuração elipsóide-plano.

GESTRA e GESTRA-KSB

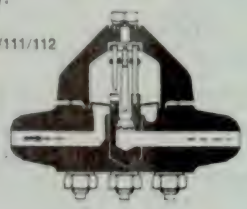
Purgadores de funcionamento termostático e termodinâmico, tipos BK, HK e UNAMAT PN 6/10/16/25.
Construção normal: corpo de aço forjado C 22, órgãos interiores de aço inoxidável. Trabalham automàticamente até 8/17/22 atmosferas de pressão diferencial. Ligações soldadas, roscadas segundo BSP ou NPT e com flanges segundo DIN ou ASA.

BK 15
UNAMAT

HK

Execuções para altas pressões com o mesmo princípio de funcionamento até PN 500 (existentes em PN 40/100/160/ /320/500).

BK 17/18/110/111/112



Purgadores termodinâmicos para grandes caudais até 200 m³/h e para pressões máximas, com órgãos de obturação escalonadas GESTRA, até PN 640.

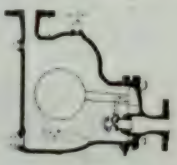
GK/NK

Válvula de descarga GESTRA-KSB tipo AK. A válvula de descarga tipo AK serve para a purga no arranque de grandes instalações e turbinas. Fecha-se ao atingir certa temperatura sem energia auxiliar. Construções até PN 500 (existentes em PN 40/160/500).

AK

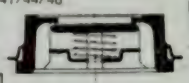
Purgadores de flutuador GESTRA-KSB com dispositivo para purga de ar automático ou manual, para qualquer aplicação até PN 160 (existentes em PN 16/25/40/100/160). Construções especiais para a purga de redes de ar comprimido.

UNA-Spezial



Válvulas de retenção GESTRA, de Disco, tipo RK, nos diâmetros nominais de 15-400 mm até PN 40. Corpos de bronze, aço vazado, aço inoxidável, etc. Órgãos interiores sempre de aço inoxidável. Para fluidos voláteis, com disco revestido a Viton ou Perbunan. As válvulas GESTRA de disco tipo RK impõem-se sobretudo pelas suas reduzidas dimensões, pela sua vedação perfeita, peso mínimo e fácil montagem.

RK 41/44/46



RK 46

Visores VKN e VK 35 para o controle visual da passagem de todos os tipos de fluidos em tubagens para o controle de permutadores de calor e do funcionamento de purgadores (existentes em PN 16/25/40).

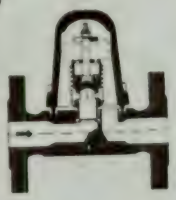
VKN

Válvulas misturadoras GESTRA, Calormix MT 22, para a produção de água quente por mistura de água fria com vapor. Regulação manual sem graduação. Ruídos mínimos. Ausência de resíduos de calcário mesmo a temperaturas críticas, por distribuição adequada da câmara de mistura.

MT

Reguladores automáticos de temperatura de saída, tipo BW, com comando termostático para adaptação a instalações de aquecimento, com água quente e sobreaquecida e com termofluidos.
Válvulas limitadoras de temperatura de saída de água de refrigeração, tipo CW, com comando termostático para a redução do consumo de água de refrigeração.

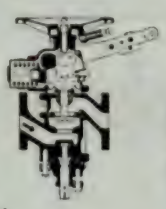
BW



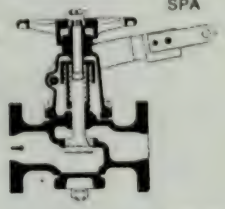
CW

Válvulas de fecho rápido para a purga periódica de caldeiras, tipos ZA, SPA, PA, com accionamento manual ou por pedal. Aptas para todas as condições de serviço e para todos os tipos de caldeiras. Estas válvulas existem também com comando a distância e programação eléctrica (existentes em PN 25/40/64/160/250).

ZA

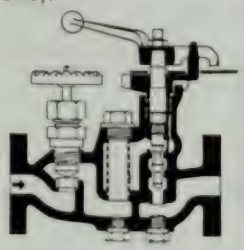


SPA



Válvulas reguladoras GESTRA Reactomat BA, com órgãos de obturação escalonados para a purga contínua de lamas em caldeiras (existentes em PN 40/64/100/ /160/250/320).

BA



Filtros SZ até DN 50 (2") e PN 500 (existentes em PN 40/160/320/500).

Estão à sua disposição informações mais completas dos aparelhos que lhe interessam. Solicite-as, indicando com uma ☒, a:

VALADAS, LDA.
Av. D. Carlos I, 60
LISBOA - 2
Telef. 66 31 13

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C.P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C.P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71 4 97

Sob o ponto de vista electrostático a distribuição de potencial não se altera se se substituir uma superfície equipotencial por uma superfície metálica. Deste modo a distribuição de potencial considerada mantém-se se se considerarem dois eléctrodos constituídos por planos ilimitados paralelos e infinitamente afastados um dos quais contém um semi-elipsóide com o eixo maior normal ao respectivo plano exactamente na origem de coordenadas admitidas (fig.1 c).

Assim uma tensão V aplicada entre os eléctrodos estabelece um campo eléctrico no espaço compreendido entre eles constituído pela sobreposição de um campo uniforme E_0 e um campo de perturbação introduzido pelo elipsóide (base do pensamento da solução (20 a) adiante proposta).

O estudo da configuração geométrica estabelecida é simplificado num sistema de eixos coordenados triortoganais (η, θ, ψ) caracterizados pelos elipsóides de revolução de parâmetro η e confocais com o elipsóide η_E que forma a heterogeneidade condutora ($\eta_E \leqslant \eta \leqslant \infty$)

$$\frac{z^2}{\eta^2} + \frac{\rho^2}{\eta^2 - 1} = c^2 \qquad (2)$$

onde ρ representa a distância de um ponto do elipsóide ao eixo *z* e *c* a distância focal comum (fig. 2 a); pela família de hiperbolóides de parâmetro θ normais aos elipsóides anteriores ($0 \leqslant \theta \leqslant \pi$)

$$\frac{z^2}{\theta^2} - \frac{\rho^2}{1 - \theta^2} = c^2 \qquad (3)$$

e pelos planos contendo o eixo z e fazendo o ângulo ψ (em que $0 \leqslant \psi < \pi$) com uma dada referência, por exemplo o plano *x, y*.

Um ponto definido por este sistema de coordenadas (η, θ, ψ) tem uma distância ao eixo *z* dada por

$$\rho = c \sqrt{(\eta^2 - 1)(1 - \theta^2)} \qquad (4)$$

como se deduz de (2) e (3).

Dada a simetria das figuras de revolução em torno do eixo *z* basta estudar as elipses no plano *x, z*

$$\frac{z^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1 \qquad (5)$$

com os semi-eixos *a* e *b* tais que

$$c^2 = a^2 - b^2 \qquad (6)$$

caracterizando-se cada eclipse pela excentricidade

$$\frac{1}{\eta} = \frac{c}{a} . \qquad (7)$$

Nestas condições as hipérboles normais respectivas são caracterizadas por θ satisfazendo a importante propriedade

$$z = c\,\eta\,\theta \qquad (8)$$

derivada de (2) e (3), onde a distância focal comum c é estabelecida pelo eléctrodo elíptico através dos seus semi-eixos maior a_E e menor b_E

$$c = \sqrt{a_E^2 - b_E^2} \qquad (9)$$

conforme com (6).

Para se exprimir a equação de Laplace (1) no novo sistema de eixos coordenados considere-se um comprimento elementar do espaço carteseano

$$(dl)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 \qquad (10\ a)$$

que se transforma para o novo sistema de coordenadas, com a condição necessária e suficiente de ortogonalidade

$$(dl)^2 = g_\eta^2 (d\eta)^2 + g_\theta^2 (d\theta)^2 + g_\psi^2 (d\psi)^2 \qquad (10\ b)$$

onde os coeficientes métricos são

$$g_\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \eta}\right)^2}$$

$$g_\theta = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \theta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \theta}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \theta}\right)^2} \qquad (11)$$

$$g_\psi = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \psi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \psi}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \psi}\right)^2} .$$

A partir das relações entre as coordenadas dos dois sistemas em estudo

$$\begin{aligned} x &= c\ \mathrm{sh}\,\eta\ \sin\theta\ \cos\psi \\ y &= c\ \mathrm{sh}\,\eta\ \sin\theta\ \sin\psi \\ z &= c\ \mathrm{ch}\,\eta\ \cos\theta \end{aligned} \qquad (12)$$

obtém-se então

$$\begin{aligned} g_\eta &= c \sqrt{\frac{\eta^2 - \theta^2}{\eta^2 - 1}} \\ g_\theta &= c \sqrt{\frac{\eta^2 - \theta^2}{1 - \theta^2}} \\ g_\psi &= \rho . \end{aligned} \qquad (13)$$

Com os eixos unitários carteseanos $\vec{x}$, $\vec{y}$, $\vec{z}$ pode escrever-se a definição

$$\mathrm{grad}\ \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x}\vec{x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}\vec{y} + \frac{\partial \varphi}{\partial z}\vec{z} \qquad (14\ a)$$

e com os vectores unitários $\vec{\eta}$ $\vec{\theta}$ $\vec{\psi}$ do sistema de coordenadas elíptico

$$\mathrm{grad}\ \varphi = \frac{1}{g_\eta} . \frac{\partial \varphi}{\partial \eta}\vec{\eta} + \frac{1}{g_\theta} . \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}\vec{\theta} + \frac{1}{g_\psi} . \frac{\partial \varphi}{\partial \psi}\vec{\psi} . \qquad (14\ b)$$

atendendo a (11).

Pela definição de divergência de um vector

$$\operatorname{div} \vec{E} = \lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{\oint \vec{E}\, d\vec{A}}{\Delta\tau} \qquad (15\ a)$$

sendo o volume $\Delta\tau$ determinado pelos comprimentos $g_\eta \Delta\eta$, $g_\theta \Delta\theta$ e $g_\psi \Delta\psi$ (fig. 2 b)

$$\Delta\tau = g_\eta\, g_\theta\, g_\psi\, \Delta\eta\, \Delta\theta\, \Delta\psi. \qquad (16)$$

Nestas condições a divergência bruta do campo eléctrico em relação à superfície $A_\eta = g_\theta \Delta\theta\, g_\psi \Delta\psi$ e segundo a direcção $\vec{\eta}$ tem a expressão

$$\left[g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta + \frac{\partial}{\partial\eta}\left(g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta\right)\Delta\eta - g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta \right]\Delta\theta\, \Delta\psi =$$

$$= \left[\frac{\partial}{\partial\eta}\left(g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta\right) \Delta\theta\, \Delta\psi \right] \Delta\eta$$

e anàlogamente para as restantes superfícies A_θ e A_ψ do volume $\Delta\tau$, pelo que

$$\oint \vec{E}\, d\vec{A} = \left[\frac{\partial}{\partial\eta}\left(g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta\right) + \frac{\partial}{\partial\theta}\left(g_\psi\, g_\eta\, \vec{E}_\theta\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial\psi}\left(g_\eta\, g_\theta\, \vec{E}_\psi\right) \right] \Delta\eta\, \Delta\theta\, \Delta\psi$$

e, através de (16),

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{g_\eta\, g_\theta\, g_\psi} \left[\frac{\partial}{\partial\eta}\left(g_\theta\, g_\psi\, \vec{E}_\eta\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial\theta}\left(g_\psi\, g_\eta\, \vec{E}_\theta\right) + \frac{\partial}{\partial\psi}\left(g_\eta\, g_\theta\, \vec{E}_\psi\right) \right]. \qquad (15\ b)$$

Deste modo o laplaceano da função potencial, segundo a definição

$$\Delta\varphi = \operatorname{div} \operatorname{grad} \varphi \qquad (17\ a)$$

resulta

$$\Delta\varphi = \frac{1}{g_\eta\, g_\theta\, g_\psi} \left[\frac{\partial}{\partial\eta}\left(\frac{g_\theta\, g_\psi}{g_\eta} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial\eta}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial\theta}\left(\frac{g_\psi\, g_\eta}{g_\theta} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial\theta}\right) + \frac{\partial}{\partial\psi}\left(\frac{g_\eta\, g_\theta}{g_\psi} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial\psi}\right) \right]. \qquad (17\ b)$$

Estas expressões são gerais, válidas para qualquer sistema de coordenadas triortogonais.

No sitema elíptico definido, por razões de simetria, as grandezas eléctricas são independentes de ψ, isto é, $\partial\varphi / \partial\psi = 0$, resultando portanto a equação de Laplace

$$\frac{\partial}{\partial\eta}\left(\frac{g_\theta\, g_\psi}{g_\eta} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial\eta}\right) + \frac{\partial}{\partial\theta}\left(\frac{g_\eta\, g_\psi}{g_\theta} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial\theta}\right) = 0 \qquad (18)$$

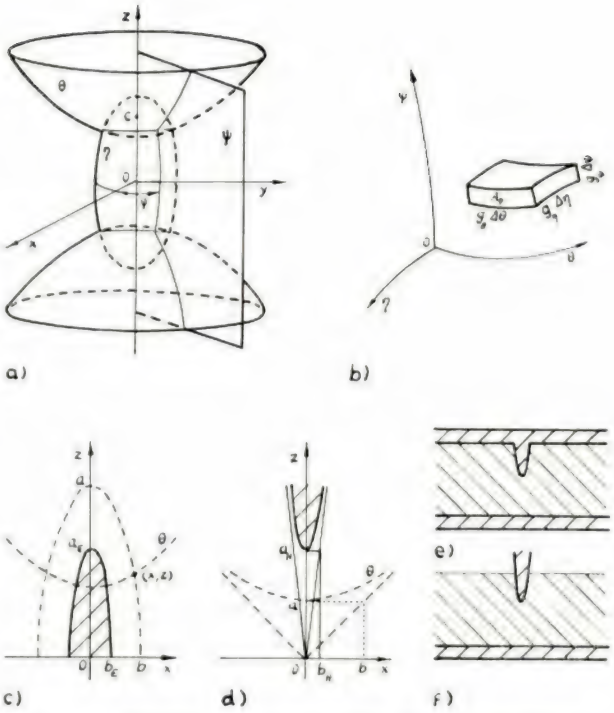


Fig. 2 — Sistemas de coordenadas das configurações.
a) Sistema elíptico de coordenadas.
b) Volume para o cálculo de div $\vec{E}$.
c) Sistema de estudo da configuração elíptica.
d) Sistema de estudo da configuração hiperbólica.
e) Configuração elíptica experimental.
f) Configuração hiperbólica experimental.

dando as expressões (13) finalmente

$$\frac{\partial}{\partial\eta}\left[\left(\eta^2 - 1\right)\frac{\partial\varphi}{\partial\eta}\right] + \frac{\partial}{\partial\theta}\left[\left(1 - \theta^2\right)\frac{\partial\varphi}{\partial\theta}\right] = 0 \qquad (19)$$

equação diferencial que se integra por reflexão física introduzindo uma solução do tipo

$$\varphi = E_0\, z + k\theta\, \varphi_P(\eta) \qquad (20\ a)$$

onde a primeira parcela atende ao potencial correspondente ao campo uniforme E_0 e a segunda parcela considera a não uniformidade consequência da heterogeneidade elíptica, sendo k uma constante arbitrária e $\varphi_P(\eta)$ uma função particular apenas de η a determinar.

Por substituição de (20 a) em (19) obtém-se

$$(1 - \eta^2)\frac{\partial^2 \varphi_P(\eta)}{\partial\eta^2} - 2\eta\frac{\partial \varphi_P(\eta)}{\partial\eta} + 2\varphi_P(\eta) = 0 \qquad (21)$$

que é uma equação de Legendre de 1.ª ordem. Como $|\eta| > 1$ a solução desta equação é [3]

$$\varphi_P(\eta) = k_P\, P_1(\eta) + k_Q\, Q_1(\eta)$$

onde k_P e k_Q são constantes arbitrárias e

$$P_1(\eta) = \eta$$

$$Q_1(\eta) = \frac{\eta}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} - 1$$

ou seja

$$\varphi_P(\eta) = k_P \eta + k_Q \left(\eta \frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} - 1 \right).$$

A distâncias infinitas o potencial deve ser constante e independente da perturbação introduzida pelo elipsóide, pelo que

$$\lim_{\eta \to \infty} \varphi_P(\eta) = 0$$

condição que permite afirmar $k_P = 0$, e portanto com (20 a)

$$\varphi = E_0 z + k k_Q \frac{z}{c} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} - 1 \right) \quad (20 \text{ b})$$

e supondo nulo o potencial do eléctrodo elíptico, o que em nada restringe o raciocínio, determina-se

$$k k_Q = \frac{E_0 c}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} - \frac{1}{\eta_E}}$$

donde resulta a função potencial

$$\varphi = E_0 z \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} - \frac{1}{\eta}}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} - \frac{1}{\eta_E}} \right). \quad (22)$$

2.2. — Distribuição do campo eléctrico

O campo electrostático calcula-se pela lei fundamental

$$\vec{E} = - \text{grad}\, \varphi \quad (23)$$

e através de (22), (14 b) e (13)

$$\frac{\vec{E}}{E_0} = \theta \sqrt{\frac{\eta^2 - 1}{\eta^2 - \theta^2}} \left(1 + \frac{-\frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} + \frac{\eta}{\eta^2 - 1}}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} - \frac{1}{\eta_E}} \right) \eta \vec{\theta} +$$

$$+ \eta \sqrt{\frac{1 - \theta^2}{\eta^2 - \theta^2}} \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} - \frac{1}{\eta}}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} - \frac{1}{\eta_E}} \right) \vec{\theta}. \quad (24)$$

Sobre o eixo *z* (quando $\theta = 1$ o hiperbolóide degenera na recta correspondente ao eixo *z*) a componente do campo eléctrico segundo $\vec{\theta}$ anula-se, donde

$$\frac{\vec{E}(z)}{E_0} = \left(1 + \frac{-\frac{1}{2} \ln \frac{\eta + 1}{\eta - 1} + \frac{\eta}{\eta^2 - 1}}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} - \frac{1}{\eta_E}} \right) \vec{z} \quad (25)$$

tendo o campo eléctrico a máxima intensidade na ponta do elipsóide relativo ao eléctrodo (para $\eta = \eta_E$)

$$\frac{E_{max}}{E_0} = 1 + \frac{-\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} + \frac{\eta_E}{\eta_E^2 - 1}}{\frac{1}{2} \ln \frac{\eta_E + 1}{\eta_E -} - \frac{1}{\eta_E}} \quad (26)$$

Dividindo (25) por (26) obtém-se a distribuição do campo eléctrico no eixo z normada em relação a E_{max}, ou seja

$$\frac{E(z)}{E_{max}} = \frac{\eta_E (\eta_E^2 - 1)}{1 + \eta_E - \eta_E^2} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{\eta_E + 1}{\eta_E - 1} \cdot \frac{\eta - 1}{\eta + 1} \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\eta_E} + \frac{\eta}{\eta^2 - 1} \right]. \quad (27)$$

Para grandes distâncias da ponta do eléctrodo elíptico

$$\lim_{z \to \infty} E(z) = E_0 \quad (28)$$

como fàcilmente se vê de (25), tendendo-se ràpidamente para a uniformidade (fig.3 a).

Observa-se que os cálculos efectuados supõem a permitividade do meio ambiente constante, desprezando-se portanto a influência de efeitos de polarização dieléctica, e além disso são válidos para dois eléctrodos infinitamente afastados. Relativamente à primeira simplificação acrescenta-se que no caso de dielécticos sólidos é em geral justificada, sobretudo em materiais não polares, como é o caso do polietileno. Em relação à segunda hipótese mostra a expressão (22) deduzida que as equipotenciais são pràticamente paralelas para distâncias da ponta do semi-elipsóide da ordem de $3 a_E$ (fig. 3 a), ou seja, considerando um eléctrodo plano afastado de $d = 4 a_E$ do outro que contém o semi-elipsóide (fig. 1 d) a distribuição do campo eléctrico não é pràticamente perturbada pois a intensidade do campo difere do valor E_0 a menos de 1% (fig. 3).

Nos casos em que a distância disruptiva entre a ponta do eléctrodo heterogéneo e o eléctrodo plano oposto

$$s = d - a_E \quad (29)$$

é muito pequena esta segunda aproximação deixa de ter significado, porquanto as superfícies equipotenciais se afastam grandemente da planaridade junto do eixo do eléctrodo elíptico, devendo considerar-se outro critério de cálculo. Quando a ponta do eléctrodo de revolução está muito próxima do eléctrodo oposto (condição $s << a_E$) o comportamento da configuração afigura-se porém como o de um hiperbolóide.

3. HETEROGENEIDADE HIPERBÓLICA

Abstraindo do estudo particular de um eléctrodo hiperbólico somos conduzidos à analise do modelo hiper-

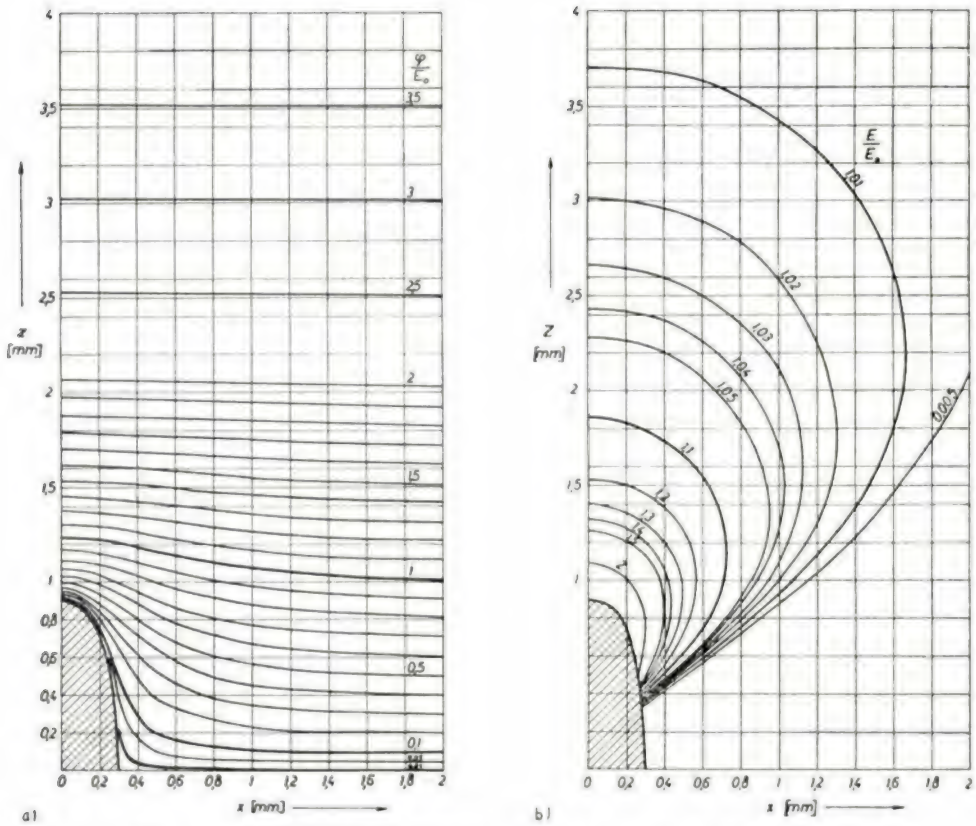


Fig. 3 — Configuração elíptica: $r_E = 0{,}1$ mm, $a_E = 0{,}9$ mm.
a) Linhas equipotenciais, segundo a eq. (22); parâmetro normado φ / E_0.
b) Linhas isocampo, segundo a eq. (24); parâmetro normado E/E_0.

bolóide - plano para interpretar os casos em que a distância disruptiva de uma heterogeneidade elíptica é muito reduzida.

3.1. — Distribuição do potencial

Considere-se um sistema constituído por um eléctrodo com a forma de um hiperbolóide de revolução com o eixo normal a um outro eléctrodo plano (fig. 2 d).

Seja c a distância focal do hiperbolóide definido num sistema casteseano de coordenadas pelos valores s e b_H tais que

$$c = \sqrt{s^2 + b_H^2} \qquad (30)$$

onde s é o afastamento da ponta do eléctrodo até à origem, podendo caracterizar-se o eléctrodo pelo parâmetro

$$\theta_H = \text{arc tg} \frac{b_H}{s}. \qquad (31)$$

Aplicando uma tensão V ao hiperbolóide define-se uma distribuição do campo eléctrico no dieléctrico de tal maneira que as linhas de campo sejam normais às superfícies de ambos os eléctrodos.

Dada a configuração geométrica do sistema prefere-se também efectuar o seu estudo num sistema de coordenadas (η, θ, ψ) definido pelos hiperbolóides θ ($\theta_H \leqslant \theta \leqslant \pi / 2$) confocais com o eléctrodo hiperbólico, os elipsóides η ($0 \leqslant \eta \leqslant \infty$) normais aos hiperbolóides anteriores e os planos ψ ($0 \leqslant \psi < \pi$) contendo o eixo *z* e fazendo o ângulo ψ por exemplo com o plano *x, z*. Observada a simetria em relação ao eixo *z* basta analisar o modelo hiperbolóide - plano no plano *x, z*, isto é, independentemente de ψ, reduzindo-se as figuras de revolução a hipérboles e elipses.

Assim um ponto de coordenadas carteseanas *(x, z)*, existente sobreuma hipérbole de parâmetro θ definido por a e b

$$\theta = \text{arc tg} \frac{b}{a}, \qquad (32)$$

satisfaz a equação da hipébole

$$\frac{z^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1. \qquad (33)$$

Fisicamente as linhas equipotenciais da configuração hiperbólica são hipérboles, donde se conclui a independência da função potencial em relação a η (além

de não depender ψ, como se referiu). Nestas condições a equação de Laplace (17) simplifica-se

$$\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{g_\eta\, g_\psi}{g_\theta} \cdot \frac{d\varphi}{d\theta}\right) = o \qquad (34)$$

e por intermédio de (11) e (12) obtém-se

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} + \cot\theta \frac{d\varphi}{d\theta} = o. \qquad (35)$$

cuja solução [4] é de forma

$$\varphi = k_{1H} + k_{2H} \ln \cot \frac{\theta}{2} \qquad (36)$$

onde as constantes k_{1H} e k_{2H} se calculam pelas condições limites

1.ª) $\theta = \theta_H$, $\varphi = V$;

2.ª) $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\varphi = o$; eléctrodo plano à terra;

resultando finalmente

$$\varphi = V \frac{\ln \cot \frac{\theta}{2}}{\ln \cot \frac{\theta_H}{2}} \qquad (37)$$

As hipérboles relativas às equipotenciais serão caracterizadas por conseguinte pelo parâmetro

$$\theta = 2\left(\frac{\theta_H}{2}\right)^{\frac{\varphi}{V}} \qquad (38)$$

uma vez normado o potencial com a tensão V aplicada entre os eléctrodos (fig. 4 a, à esquerda).

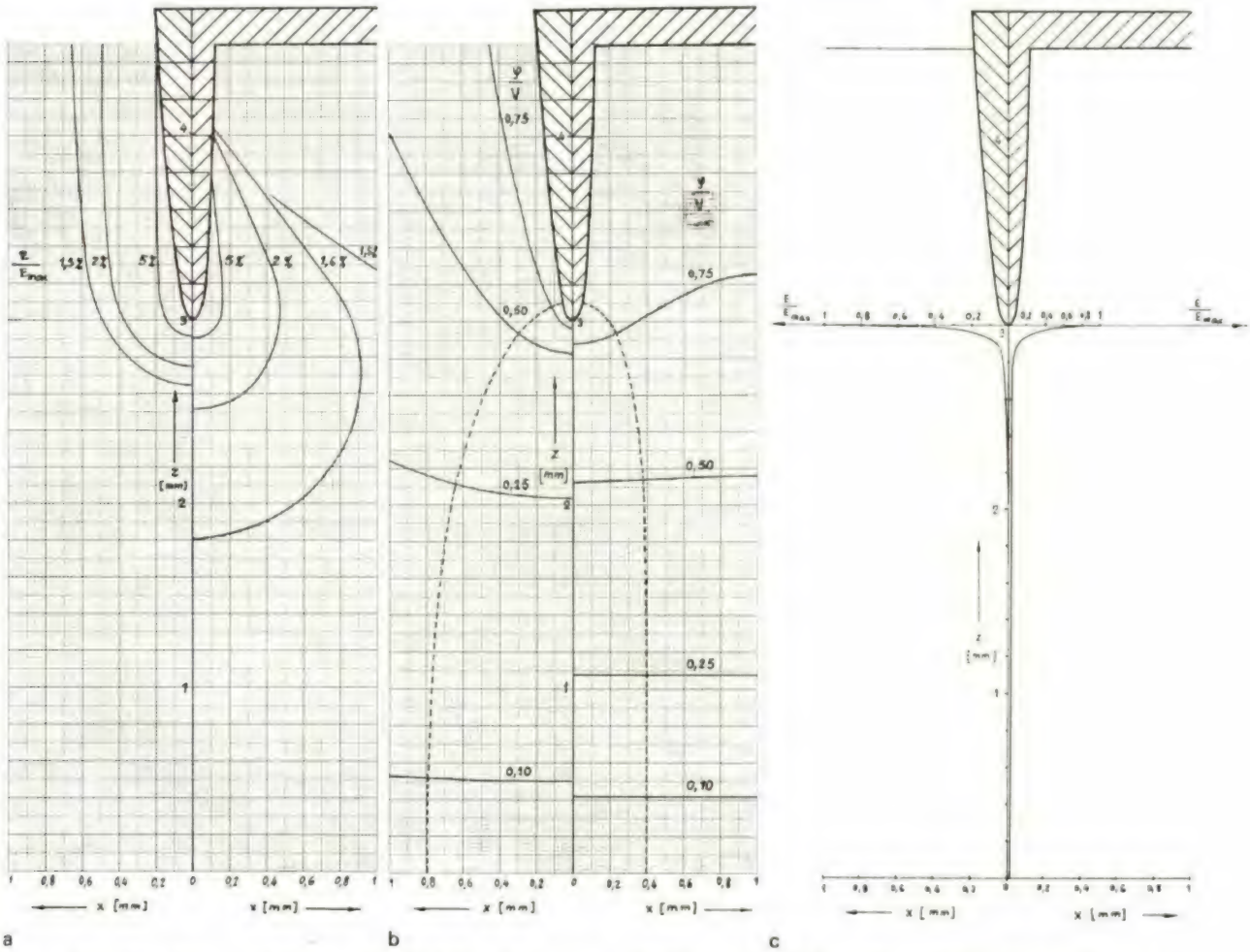


Fig. 4 — Comparação das distribuições do campo eléctrico nas configurações elíptica (em cada semi-gráfico direito) e hiperbólica (à esquerda): d = 4,5 mm, s = 3 mm, r = 0,01 mm.

a) Linhas equipotenciais (traço contínuo) normadas com a tensão V e linhas de campo estimadas (traço-traço).

b) Linhas isocampo normadas com E_{max}.

c) Intensidade do campo eléctrico no eixo do eléctrodo heterogéneo.

3.2. — Distribuição do campo eléctrico

Seguindo igual raciocínio a equação (22) permite calcular a intensidade do campo eléctrico

$$E = \frac{V}{c \sin \theta \sqrt{sh^2 \eta + \sin^2 \theta \ln \cot \frac{\theta_H}{2}}} \qquad (39)$$

onde

$$\sin \theta = \frac{b}{c}, \qquad (40)$$

como se vê fàcilmente (fig. 2 d), e

$$sh\ \eta = \frac{x}{b} \qquad (41)$$

deduzida da primeira equação (12) e de (40).

O valor máximo do campo eléctrico verifica-se na ponta do eléctrodo hiperbólico (para $\theta = \theta_H$ e $\eta = o$)

$$E_{max} = \frac{V}{c \sin^2 \theta_H \cdot \ln \cot \frac{\theta_H}{2}} \qquad (42)$$

pelo que a expressão normada da intensidade do campo resulta

$$\frac{E}{E_{max}} = \frac{\sin^2 \theta_H}{\sin \theta \sqrt{sh^2 \eta + \sin^2 \theta}} \qquad (43\ a)$$

ou, com (40) e (41),

$$\frac{E}{E_{max}} = \frac{b^2_H}{\sqrt{b^4 + c^2 x^2}}. \qquad (43\ b)$$

Esta expressão permite calcular o valor da abcissa *x* de um ponto sobre a hipérbole caracterizada por *b* (ou seja θ) onde reina um dado valor E/E_{max}; com a equação (33) calcula-se a correspondente ordenada *z* (fig. 4 b, à esquerda).

A distribuição da intensidade do campo eléctrico ao longo do eixo do eléctrodo hiperbólico obtém-se de (39) fazendo $\eta = o$

$$E\ (z) = \frac{V}{c \sin^2 \theta \cdot \ln \cot \frac{\theta_H}{2}} \qquad (44)$$

donde

$$\frac{E(z)}{E_{max}} = \frac{\sin^2 \theta_H}{\sin^2 \theta} \qquad (45\ a)$$

ou

$$\frac{E(z)}{E_{max}} = \frac{b^2_H}{b^2}. \qquad (45\ b)$$

É importante notar que estas expressões deduzidas para o potencial e para o campo eléctrico são independentes da espesura do dieléctrico, isto é, admitiu-se que todo o espaço é ocupado pelo mesmo meio ambiente. No caso real em que o dieléctrico onde se encontra a ponta do hiperbolóide é limitado haverá uma diferença por efeito da superfície da transição com o ar, que será tanto menor quanto mais reduzida for a permitividade do material isolante.

As grandezas definidas para o campo eléctrico podem normar-se fàcilmente por intermédio da intensidade do campo eléctrico uniforme E_O que existiria se ambos os eléctrodos fossem planos e tendo em atenção a espessura d do dieléctrico

$$E_O = \frac{V}{d} \qquad (46)$$

mas preferiu-se a normação com E_{max} por E_O não ter significado real num sistema hiperbolóide - plano. Este pensamento justifica a mesma normação no caso do modelo elipsóide - plano a fim de se efectuar uma comparação entre as duas configurações.

4. COMPARAÇÃO DAS HETEROGENEIDADES ELÍPTICA E HIPERBÓLICA

O cálculo numérico das expressões deduzidas, realizado num computador digital, permitiu uma representação gráfica das grandezas eléctricas com a vantagem de uma visualização clara das diversas distribuições.

O tratamento analítico da configuração elíptica foi realizado com a origem de coordenadas no centro do corespondente elipsóide de revolução (fig. 2 c), de modo que o campo eléctrico decresce a partir da ponta do eléctrodo à medida que os valores da ordenada *z* aumentam; na configuração hiperbólica porém o eléctrodo encontra-se afastado da origem (fig.2 d), decrescendo a intensidade do campo desde a sua ponta e à medida que os valores de z diminuem. Para comparar as duas configurações no mesmo sistema de coordenadas carteseanas e para iguais distâncias s do eléctrodo plano até à ponta do eléctrodo heterogéneo exige-se uma mudança de coordenadas. Tomando os eléctrodos heterogéneos na posição de ánodo, isto é, com os correspondentes eléctrodos planos ao potencial nulo (fig. 2 e , f), os cálculos da configuração elíptica foram convertidos no sistema de coordenadas do modelo hiperbólico tendo em consideração a espessura *d* do dieléctrico.

Quando os eléctrodos elíptico e hiperbólico possuem uma ponta com igual raio de curvatura, respectivamente

$$r_E = \frac{b^2_E}{a_E} \qquad (47)$$

e

$$r_H = \frac{b^2_H}{s}, \qquad (48)$$

o último contorno define um eléctrodo ligeiramente mais grosso (comparem-se os respectivos perfis na fig. 4). Mas pode assumir-se que o primeiro eléctrodo corresponde concepcionalmente ao segundo no qual se rodou a superfície do hiperbolóide de maneira a formar o plano onde assenta o semi-elipsóide da configuração elíptica. As diferenças introduzidas na distribuição do campo

eléctrico são devidas essencialmente à existência deste plano (que não existe na configuração hiperbólica).

1. A direcção do campo eléctrico traduz-se pelas equipotenciais (fig. 4 a), que lhe são constantemente normais. Nos dois casos estudados constata-se uma diferença na direcção do campo eléctrico nos pontos de igual abscissa sobre os planos transversais ao eixo do eléctrodo heterogéneo, sobretudo junto da sua ponta: a componente longitudinal é maior que a transversal em ambas as configurações mas a relação entre estas componentes é menor no caso da ponta hiperbólica, quer dizer, a abertura das linhas de campo é maior se se trata de um eléctrodo hiperbólico.

2. As linhas isocampo, definidas como sendo o lugar geométrico dos pontos com igual intensidade de campo eléctrico (correspondendo no espaço a superfícies isocampo), caracterizam a intensidade do campo eléctrico (fig. 4 b). Em primeiro lugar o seu desenvolvimento ao longo do eixo do eléctrodo heterogéneo é muito mais comprido para a configuração elíptica; em segundo lugar o desenvolvimento em planos transversais a esse eixo na zona de disrupção é mais largo para o eléctrodo elíptico (embora em planos que atravessem o eléctrodo possa ser menor).

3. Para uma dada tensão a intensidade máxima do campo eléctrico é maior na ponta hiperbólica do que na elíptica: se $r = 0{,}01$ mm, $s = 3$ mm e $d = 4{,}5$ mm obtém-se os valores $E_{E,\,max}/E_0 = 67$ a partir de (26) e $E_{H,\,max}/E_0 = 127$ através de (42), portanto numa relação de 1 : 2 (fig. 4 c, para $z = 3$ mm). Outro modo de formular este facto: para iguais valores máximos da intensidade do campo eléctrico a tensão aplicada ao eléctrodo elíptico deverá ser inferior ao correspondente do eléctrodo hiperbólico (cerca de metade no exemplo calculado).

4. A intensidade do campo eléctrico sobre o eixo do electrodo (fig. 4 c) reduz-se muito ràpidamente à medida que se afasta da ponta em ambos os casos, mas enquanto na configuração hiperbólica tende para um valor muito reduzido no eléctrodo elíptico tende para o valor E_0 do campo uniforme.

5. A distância disruptiva, ou seja, o afastamento entre a ponta do eléctrodo heterogéneo e o eléctrodo plano oposto, é decisiva na determinação do valor máximo da intensidade do campo eléctrico (fig. 5). Numa configuração hiperbólica se s é muito pequena o campo na ponta tem um valor muito elevado; para maiores distâncias s o campo máximo reduz-se tendendo para um andamento pouco decrescente quando a distância disruptiva aumenta. Por seu lado numa configuração elíptica admitiu-se que o eléctrodo oposto ao eléctrodo elíptico se encontrava infinitamente afastado pelo que para pequenas distâncias s os cálculos deixam de ter significado; substitui-se então o raciocínio de cálculo pela configuração hiperbólica equivalente (mesma distância disruptiva e ponta com igual raio de curvatura). Segundo este critério há uma zona de transição que se define numa representação gráfica semi-logarítmica pelas rectas tangentes às curvas relativas á função E_{max} (s) (ou à função normada E_{max} (s)/V, pois se facilita o cálculo para diferentes tensões aplicadas) com igual parâmetro r. No caso em que $d = 4{,}5$ mm (fig. 5) é válido o cálculo da configuração elíptica até $s = 2$ mm; abaixo de $s = 0{,}75$ mm reinam os cálculos da configuração hiperbólica equivalente; entre $s = 2$ mm e $s = 0{,}75$ mm a zona de transição é caracterizada pela recta

$$\log \frac{E_{max}}{V} = \alpha - 0{,}43\, s \qquad (49)$$

ou

$$E_{max} = V.\ 10^{\alpha - 0{,}43\, s} \qquad (50)$$

com E_{max} expresso em MV cm^{-1} e V em KV, sendo α uma constante dependente do raio de curvatura, como a seguir se indica para o exemplo calculado:

r (mm)	α (MV cm^{-1} /KV)
0,01	0,45
0,02	0,26
0,10	0,08

6. O raio de curvatura da ponta do eléctrodo heterogéneo é igualmente de grande importância na definição da intensidade do campo eléctrico e em especial do valor máximo (fig. 5). Quanto menor for r maior é a inten-

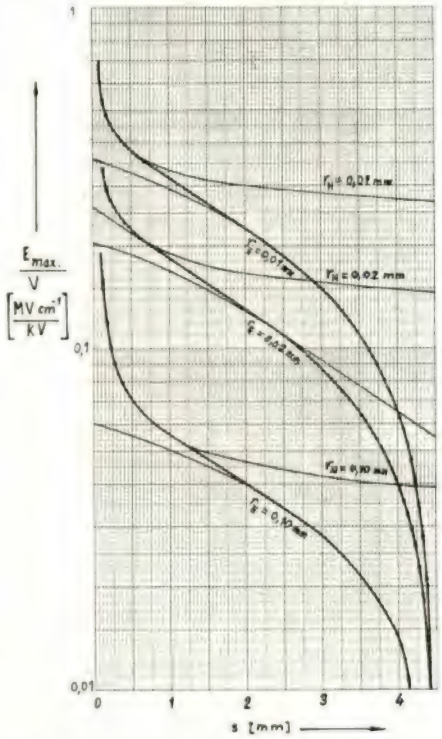


Fig. 5 — Intensidade máxima do campo eléctrico na ponta do eléctrodo heterogéneo em fução da distância disruptiva s (coordenada da ponta); d = 4,5 mm.

sidade para igual distância disruptiva, sendo o correspondente valor da configuração hiperbólica sempre superior ao da elíptica.

5. INTERPRETAÇÃO DO ARVOREJAMENTO PELO CAMPO ELÉCTRICO

O estudo dos modelos definidos tem importância por possibilitar um esclarecimento físico do arvorejamento de dieléctricos sólidos, conforme a experimentação revela.

O fenómeno de arvorejamento é observável òpticamente nos materiais isolantes poliméricos, particularmente nos que possuem elevada transparência, como por exemplo o polietileno. Este material foi utilizado na investigação experimental, para o que se embeberam eléctrodos metálicos com os perfis examinados, imergindo-se o conjunto num banho de óleo de transformador para evitar descargas superficiais à tensão do ensaio.

Quando a tensão aplicada ao dieléctrico for suficiente para provocar localmente, em virtude da presença da heterogeneidade metálica, uma intensidade de campo eléctrico que origine a disrupção intrínseca incompleta do material forma-se uma cavidade onde surgem descargas parciais e daí o desenvolvimento de canais que correspondem ao arvorejamento. Estes canais, sendo devidos ao bombardeamento de electrões que encorpam as descargas parciais, crescem de preferência segundo as linhas de campo eléctrico numa estrutura amorfa ou pelo menos parcialmente cristalina com as cristalites desordenadamente orientadas. Se existir uma orientação preponderante das cadeias moleculares sobrepõe-se ao efeito do campo eléctrico o efeito de orientação macromolecular [5].

Pela análise teórica e experimental da acção do campo eléctrico no crescimento do arvorejamento verifica-se que se a distância disruptiva for muito grande o fenómeno progride num forte adensamento de canais num volume limitado por um contorno com formas típicas distintas (fig. 6 a): no caso de uma heterogeneidade elíptica o arvorejamento é alongado, exactamente como as linhas de campo, e num eléctrodo hiperbólico tem um aspecto arredondado, em acordo com uma maior abertura das respectivas linhas de campo.

O contorno do arvorejamento, relativo aos extremos dos ramos de maior comprimento, é definido pela energia dos electrões que atingem esse limite, sob a influência da orientação e intensidade do campo eléctrico, da ordenação macromolecular do sólido e da pressão dos gases resultantes da decomposição química da substância polimérica.

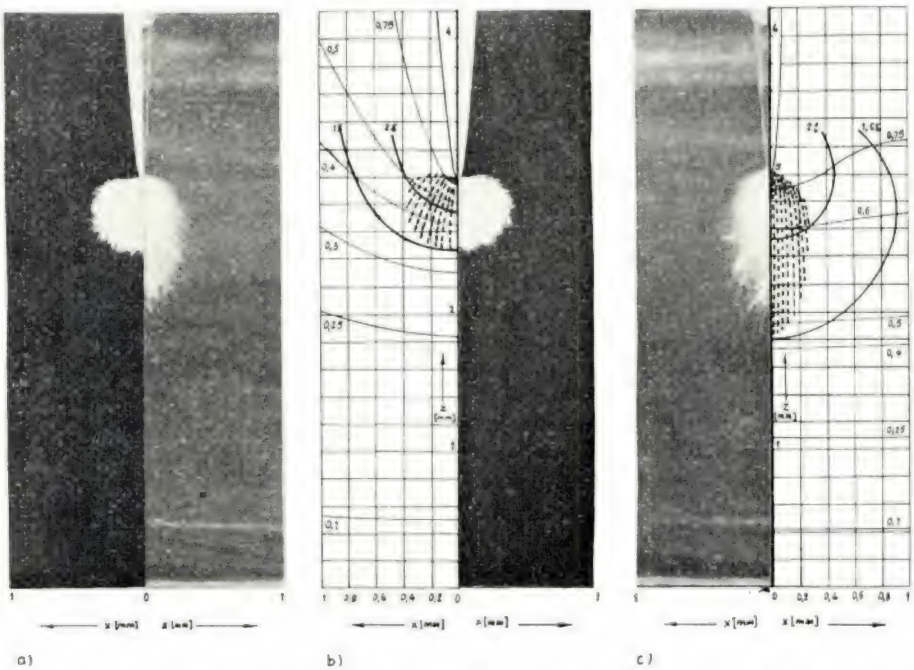


Fig. 6 — Comparação do arvorejamento de polietileno nas configurações elíptica e hiperbólica: r = 0,01 mm, s = 3 mm, d = 4,2 mm; linhas de campo (a traço-traço) estimadas a partir das linhas equipotenciais (a traço contínuo fino); linhas isocampo (a traço contínuo grosso).

a) Arvorejamento na configuração elíptica (à direita) e hiperbólica (à esquerda) após 15 minutos a 30 KV.

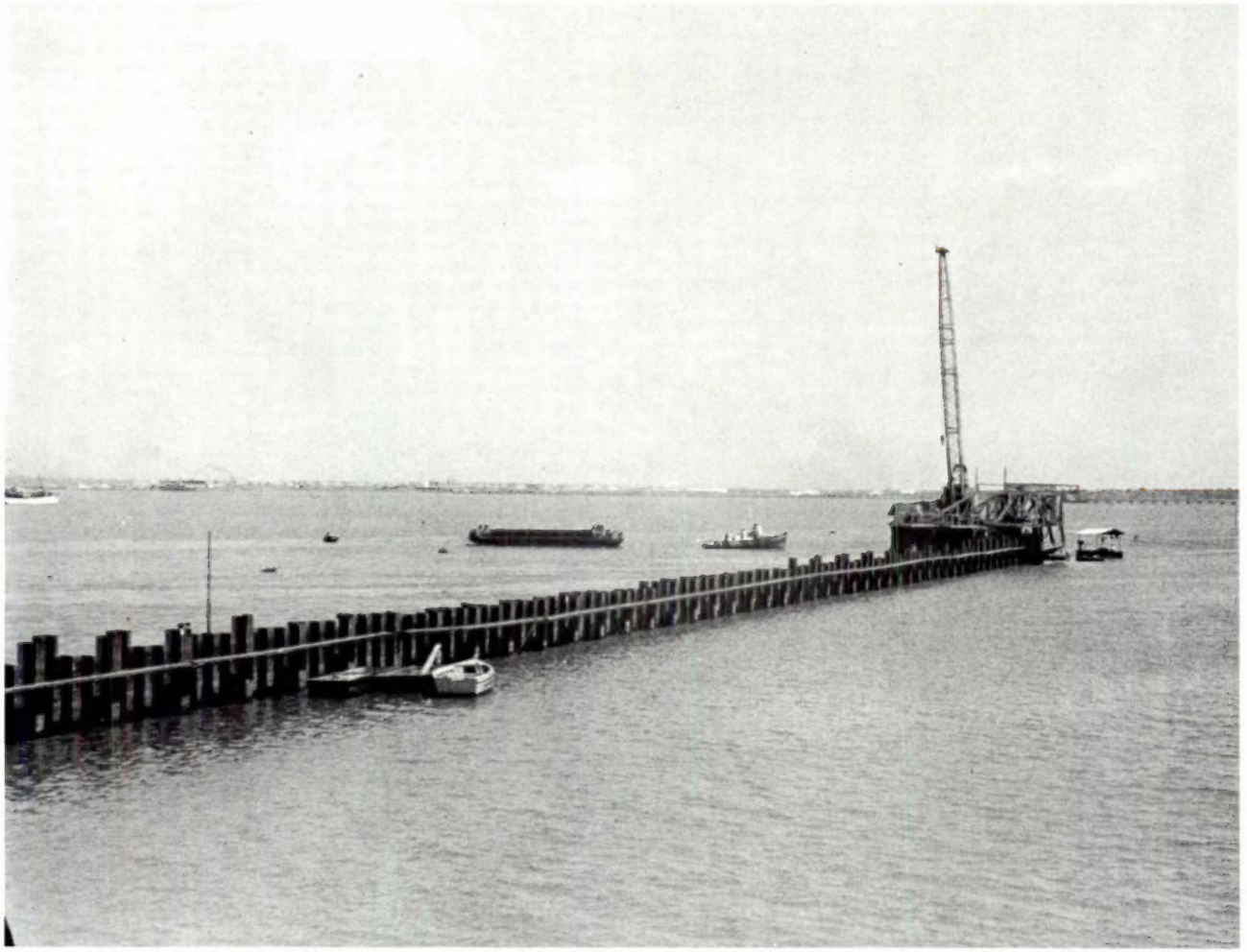
b) Distribuição do campo (à esquerda) e arvorejamento (à direita) no modelo hiperbolóide-plano.

c) Arvorejamento (à esquerda) e distribuição do campo (à direita) no modelo elipsóide-plano.

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.



DIRECÇÃO DE SERVIÇOS DE CAMINHO DE FERRO, PORTOS E TRANSPORTES (DSCFPT) — Moçambique — Porto de Lourenço Marques — Novo prolongamento do cais Gorjão: 320 metros de cortina metálica em concertina, em fundos de (— 11,00).

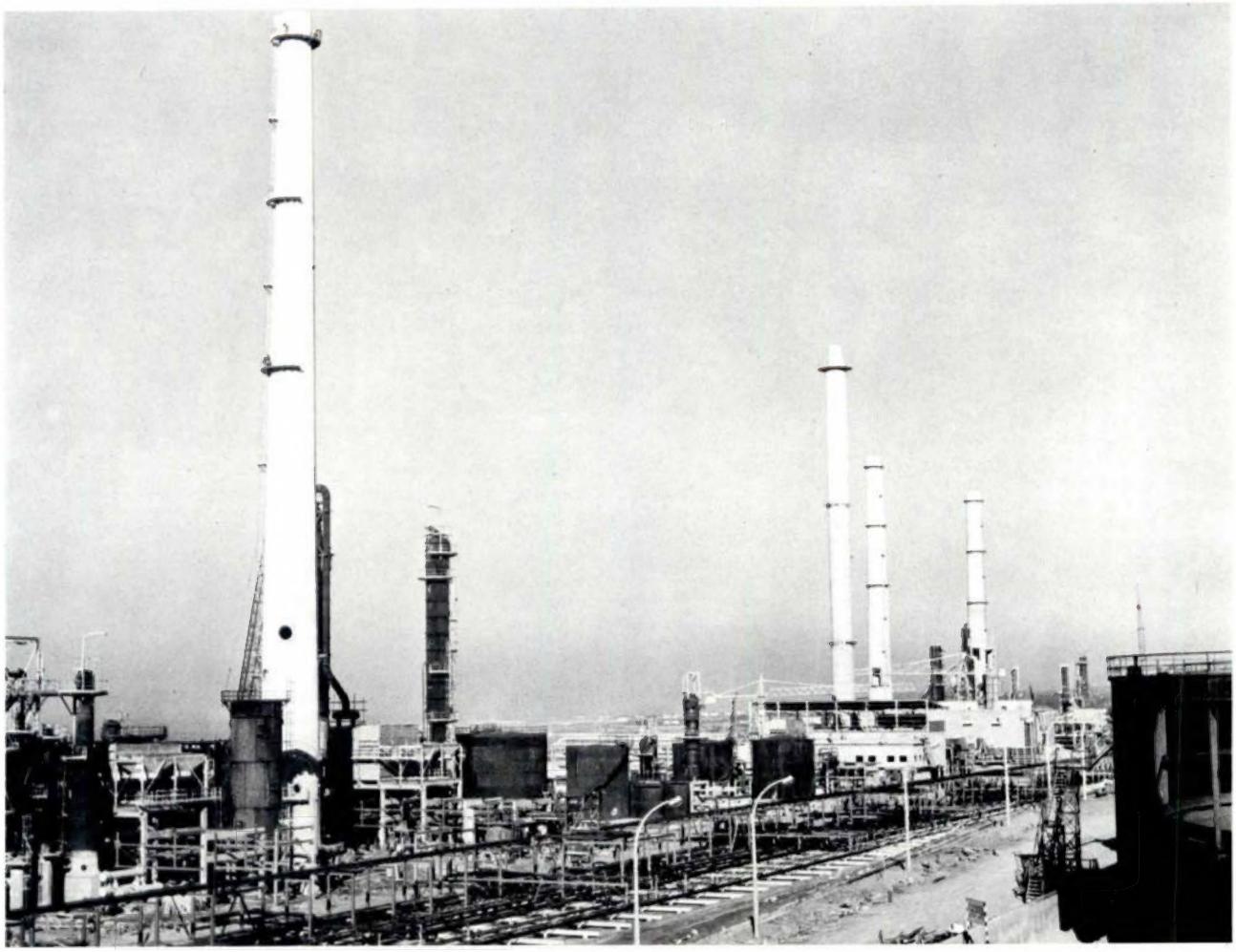
OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL—INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.



SACOR — Refinaria do Norte (Matosinhos) — Quatro chaminés de betão armado com 100 metros de altura. Construção com moldes deslizantes.

OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL–INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

Mas a forma desse contorno é esclarecida pela conjugação das linhas de campo (que definem a direcção do campo) com as linhas isocampo (que determinam a sua intensidade). A princípio pensámos que o arvorejamente deveria atingir exactamente as superfícies isocampo, pois correspondem a pontos com igual intensidade do campo eléctrico [6]. Mas observando as linhas de campo no caso do eléctrodo elíptico (fig. 6 c) conclui-se que as partículas aceleradas são desviadas paralelamente ao eixo não podendo alcançar os pontos das linhas isocampo afastadas do eixo. O andamento das curvas isocampo esclarece por seu lado a forma oval do contorno pois para duas trajectórias paralelas ao eixo a intensidade do campo é tanto menor quanto mais afastadas se encontram as partículas do eixo sobre o mesmo plano transversal; a este efeito de redução da intensidade do campo sobrepõe-se o efeito de curvatura da trajectória (com maior cedência de energia). De facto na base do esclarecimento da forma do contorno de arvorejamento reside a energia das partículas no momento em que colidem com as unidades estruturais das macromoléculas, isto é, a energia inicial na ponta do eléctrodo (onde o campo eléctrico é máximo) adicionada com a energia cinética adquirida pelo movimento até à colisão, que é tanto mais reduzida quanto maior for a energia cedida durante o percurso por colisões com outras partículas e devido à curvatura da trajectória por influência do campo. Assim se compreende que quanto mais afastadas do eixo forem as trajectórias das partículas aceleradas menor é o seu comprimento, e daí o não se atingirem as curvas isocampo.

O nosso pensamento inicial encontra apoio, em certa medida, no eléctrodo hiperbólico (fig. 6 b), pois as linhas de campo são mais abertas, originando um contorno circular mais próximo da evolução das correspondentes linhas isocampo.

5. CONCLUSÕES

Observando experimentalmente o arvorejamento de polietileno e comparando com a distribuição do campo eléctrico em ambas as configurações estudadas constata-se um acordo notável com a teoria exposta:

1. A direcção do campo eléctrico (fig. 4 a) determina componentes longitudinais e transversais que justificam um arvorejamento mais estreito no caso elíptico (fig. 6 a).

2. O andamento das linhas isocampo (fig. 4 b) estendendo-se mais no espaço de disrupção, para iguais valores da intensidade do campo eléctrico, dão ao eléctrodo elíptico um arvorejamento mais comprido (fig.6 a).

3. O valor da intensidade máxima do campo eléctrico na ponta do eléctrodo (fig. 4 c), em igualdade de condições geométricas (raio de curvatura e distância disruptiva), sendo muito mais elevada na configuração hiperbólica facilita o estudo do arvorejamento com eléctrodos hiperbólicos pois se exigem tensões inferiores para se dar início ao fenómeno.

4. A intensidade do campo eléctrico ao longo do eixo do eléctrodo heterogéneo (fig. 4 c) reduz-se em breve a valores insignificantes no caso hiperbólico pelo que o arvorejamento se estabiliza num volume limitado se a distância disruptiva for suficientemente grande. Este limite é uma característica do material e pode ser encarado como uma grandeza definidora do fenómeno de arvorejamento se se normalizar uma configuração geométrica hiperbólica (raio de curvatura da ponta e distância disruptiva bem definidas). No caso elíptico a intensidade mínima do campo eléctrico é $E_0 = V/d$, pelo que se pode dar o progresso do arvorejamento ao longo do tempo.

5. Para um dieléctrico com uma dada espessura quanto mais se penetra o eléctrodo elíptico (redução da distância disruptiva), maior é a máxima intensidade do campo eléctrico na sua ponta; mas esse valor mantém-se sempre inferior ao da ponta hiperbólica equivalente (com igual raio de curvatura e para a mesma distância disruptiva) aproximando-se no entanto os respectivos valores (fig. 5). Quando porém a distância disruptiva s é reduzida apenas a configuração hiperbólica tem significado para o cálculo do campo, tendo-se definido um critério de transição através de rectas tangentes às curvas log E_{max} (s) de igual parâmetro r, critério que satisfaz absolutamente com a experiência.

6. Com grandes raios de curvatura a intensidade máxima do campo eléctrico é menor que para pequenos raios de curvatura em ambos os tipos de configurações (fig. 5), mas os valores do modelo hiperbólico mantém-se sempre acima dos correspondentes no sistema elíptico, o que explica a preferência dos experimentadores pelo chamado teste de agulhas, pois com a heterogeneidade hiperbólica é mais fácil desenvolver o arvorejamento.

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos ao Dipl. Ing. N. Meier as suas observações críticas no decurso do nosso trabalho e ao Prof. Dr. Ing. M. Beyer as facilidades concedidas na utilização do calculador e dos equipamentos de ensaio do Schering-Institut.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] O. S. PRATT: A New Form of Needle Test for Polyethylene Insulation; IEEE Trans. PAS - 87 (1968) p. 1609 — 1613.

[2] J. H. MASON: Breakdown of Solid Dielectrics in Divergent Fields; Proc. IEE, 102 - C (1955) p. 254 — 264.

[3] S. M. SELHY, R. C. WEAST, R. S. SHANKLAND: Handbook of Mathematical Tables, Supplement to Handbook of Chemistry and Physics; Chemical Rubber Publishing Company, Ohio (1962) p. 371.

[4] H. PRINZ: Hochspannungsfelder; R. Oldenbourg Verlag Muenchen-Wien (1969) p. 308.

[5] H. DUARTE - RAMOS: Efeito de estiramento do polietileno no arvorejamento devido a um eléctrodo em ponta; Electricidade 72 (1971) p. 196 - 202.

[6] H. DUARTE - RAMOS: Untersuchung des racumlichen und Zeitlichen Ablaufs der Zerstoerung von Polyaethylen bei inhomogenem Feldverlauf; Diplomarbeit, Schering - Institut, T. U. Hannover (1971).

FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS NO MUNDO

OBJECTIVO E PROGRAMA	LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO INFORMAÇÕES
Primeiras jornadas matemáticas Luso-Espanholas Secções: Lógica e fundamentos da Matemática; Algebra; Topologia geral e Topologia Algébrica; Análise Matemática;; Geometria; Estatística; Análise Numérica; Ciências Computacionais; Mecânica e Física Matemática; Astronomia; História da Matemática; Metodologia; Didáctica e Problemas do ensino	Lisboa, 4-8 Abril - 72 Trav. do Rosário, 31, Lisboa-2
Controle de Qualidade	Lisboa, 5 Abril - 72 INII
Filas de espera	Lisboa, 5-7 Abril - 72 INII
International Symposium on Jet Cutting	Universidade de Warwick - Conventry, 5-7 Abril 72, B. H. R. A., Cranfield, Bedford, Grã-Bretanha
Conferência sobre «Registo e Interpretação de medições em Engenharia»	Londres, 5-7 Abril - 72, The Memorial Building, 76 Mark Lane, London, E. C. 3, Inglaterra
Continental Drift Sea - Floor Spreading and Plate Téctonics: Implications for earth Science	Newcastle Upon Tyne, 5-13 Abril - 72 Invotan R. Barata Salgueiro, 28-2.º, Lisboa
Salon International des Composants Électroniques	Paris, 6-11 Abril - 72
1 Oth International Symposium on Computer Applications in the Mineral Industry	Johannesburg, 9-14 Abril - 72 Kelvin House, 2 Hollard St., Johannesburg, Transval, Africa do Sul
Industrial Accident Prevention Assn. Conference & Safety Show	Toronto, 10-11 Abril - 72 74 Victoria St. Toronto 1 Canada
O Serviço de Aprovisionamento na Empresa	Lisboa, 10-12 Abril - 72 COPRAI
V Congresso Europeu de Mecânica dos Solos e de Engenharia de Fundações. Tema: Estruturas sujeitas a esforços laterais	Madrid, 10-13 Abril - 72 Mr. J. M. Rodriguez Ortiz, Secretário Cems-72, Laboratorio del Transporte y Mecânica del Suelo, Alfonso XII, 3, Madrid-7, Espanha
The Science and Technology of Coatings	London, 10-14 Abril - 72 Invotan